

**DIE INTER- UND INTRAINDIVIDUELLEN
SCHWANKUNGEN IN DER ZUSAMMENSETZUNG
DER MUTTERMILCH
MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES
EINFLUSSES EXOGENER FAKTOREN
AUF DAS FETTSÄUREMUSTER SOWIE DEN
GEHALT AN FETT UND SPURENELEMENTEN**

Sabine Müller-Limmroth

1901



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549007_0024

Aus der Abteilung für Neonatologie (Prof. Dr.med. K. Riegel)
der Kinderklinik (Direktor: Prof. Dr.med. Kl. Betke)

der

Ludwig-Maximilians-Universität München.

DIE INTER- UND INTRAINDIVIDUELLEN SCHWANKUNGEN IN DER
ZUSAMMENSETZUNG DER MUTTERMILCH MIT BESONDERER BERÜCK-
SICHTIGUNG DES EINFLUSSES EXOGENER FAKTOREN AUF DAS
FETTSÄUREMUSTER SOWIE DEN GEHALT AN FETT UND SPUREN-
ELEMENTEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der
gesamten Medizin an der Ludwig-
Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Sabine MÖLLER-LIMMROTH
aus Münster (Westf.)

1981

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr.med. Kl. Riegel
Prof. Dr.med. Kl. Betke

Dekan: Prof. Dr.med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 10. März 1981



Herrn Professor Dr.med. K. Riegel
möchte ich für die Überlassung des
interessanten Themas herzlich danken.

Meinen Eltern!

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
II. LITERATUROBERSICHT	2
1. <u>Die Milchsekretion</u>	2
2. <u>Die Zusammensetzung der Muttermilch</u>	4
3. <u>Der Einfluß exogener Faktoren auf die Milchezusammensetzung</u>	12
3.1 Anzahl der Geburten	12
3.2 Alter	12
3.3 Körpergröße und Ernährungszustand	12
3.4 Zeitpunkt des Stillens	13
3.4.1 Änderungen während der Mahlzeit	13
3.4.2 Änderungen innerhalb eines Tages	15
3.4.3 Änderungen im Verlauf der Stillperiode	16
3.4.3.1 Fettgehalt	16
3.4.3.2 Fettsäuren	17
3.4.3.3 Spurenelemente	18
3.5 Der Einfluß der Nahrungszusammensetzung auf den Gehalt an	19
3.5.1 Fett	20
3.5.2 Fettsäuren	21
3.5.2.1 Oberangebot an Kalorien in Form von Kohlenhydraten (75%), kein bzw. wenig Fett (7%)	22
3.5.2.2 Kaloriendefizit, kein Fett	23
3.5.3.3 Oberangebot an Kalorien in Form von Fett	23
3.5.2.4 Kaloriengleichgewicht, 40% tierisches Fett (15% Kuhmilchprotein, 45% Kohlenhydrate)	25
3.5.2.5 Kaloriengleichgewicht, 40% pflanzliches Fett	25
4. <u>Vergleich der Frauenmilch mit Kuhmilch bzw. adaptierter Flaschennahrung</u>	28
III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	30
1. <u>Methodik</u>	30
1.1 Klinisches Vorgehen	30
1.2 Labortechnische Methoden	31
1.2.1 Die pH-Messung	31
1.2.2 Die Crematokritmessung	32

	Seite
1.2.3 Die Gefriertrocknung	32
1.2.3.1 Vorfrieren der Proben	34
1.2.3.2 Gefriertrocknung	34
1.2.4 Bestimmung der Trockensubstanz	34
1.2.5 Versand der Proben	34
1.2.6 Analysenmethoden	34
1.2.6.1 Fettgehalt	34
1.2.6.2 Fettsäurespektren	35
1.2.6.3 Spurenelemente	35
1.2.7 Erfassung der täglichen Nahrungsaufnahme	36
1.2.8 Gedeihen des Kindes	36
1.2.9 Erfassung der Milchmenge	36
1.3 Auswertung	36
2. <u>Ergebnisse</u>	38
2.1 Longitudinalverläufe der einzelnen Fettsäuren	38
2.1.1 Gesättigte Fettsäuren	40
2.1.1.1 Kurzkettenige Fettsäuren	40
2.1.1.2 Mittelkettenige Fettsäuren	40
2.1.1.3 Langkettenige Fettsäuren	41
2.1.2 Ungesättigte Fettsäuren	44
2.1.2.1 Monoensäuren	44
2.1.2.2 Polyensäuren	46
2.1.3 Restliche Fettsäuren	48
2.2 Longitudinalverläufe von Fettsäuregruppen	48
2.2.1 Gesättigte Fettsäuren	48
2.2.2 Ungesättigte Fettsäuren	50
2.2.3 Monoensäuren	51
2.2.4 Polyensäuren	52
2.2.5 Mittelkettenige Fettsäuren	54
2.2.6 Langkettenige Fettsäuren	55
2.2.7 Nahrungsabhängige Fettsäuren	57
2.3 Longitudinalverlauf des Fettgehaltes	59
2.3.1 Fettgehalt der frischen Milch	59
2.3.1.1 Bestimmung durch Analyse	59
2.3.1.2 Crematokrit	61
2.4 Longitudinalverlauf des pH-Wertes	62
2.5 Longitudinalverläufe der Spurenelemente	63
2.5.1 Cadmium	63
2.5.2 Chrom	64

	Seite
2.5.3 Kupfer	65
2.5.4 Mangan	66
2.5.5 Blei	67
2.5.6 Zink	68
2.6 Veränderungen der Milch im Verlauf eines Stillvorganges	71
2.7 Die Zusammensetzung der Nahrung von 4 Versuchspersonen und deren Einfluß auf das Fettsäuremuster der Milch	73
IV. DISKUSSION	85
1. <u>Zur Methodik</u>	85
1.1 Das Kollektiv der Versuchspersonen	85
1.2 Die Abnahmetechnik	86
1.3 Die pH-Messung	86
1.4 Die Crematokritmessung	87
1.5 Die Lyophilisation	88
2. <u>Zur Auswertung</u>	89
2.1 Der Gehalt der Muttermilch an Fettsäuren und Fett	89
2.1.1 Vergleich mit Literaturwerten	89
2.1.1.1 Die Fettsäuren	90
2.1.1.2 Der Fettgehalt der Milch	91
2.2 Die Nahrungsabhängigkeit des Fettsäuremusters	91
2.3 Der pH-Wert	93
2.4 Die Spurenelemente der Muttermilch	94
2.4.1 Vergleich mit Literaturwerten	94
2.4.2 Der Einfluß exogener Faktoren auf die Spurenelemente der Muttermilch	95
2.4.2.1 Laktationszeitpunkt	95
2.4.2.2 Brustdrüsenenerkrankungen	95
2.4.2.3 Kontamination durch Metallteile	95
2.4.2.4 Verarbeitung	96
2.4.2.5 Aufnahme mit der Nahrung und der Atemluft	96
2.4.2.5.1 Blei	97
2.4.2.5.2 Cadmium	98
2.4.3 Zur Frage der Bedarfsdeckung des Säuglings mit Spurenelementen	98

	Seite
V. ZUSAMMENFASSUNG	101
VI. TABELLEN	105
1. Literaturwerte und eigene Ergebnisse	105
2. Abkürzungen	109
3. Korrelationen	110
VII. LITERATURVERZEICHNIS	115
Lebenslauf	124

DIE INTER- UND INTRAINDIVIDUELLEN SCHWANKUNGEN IN DER ZUSAMMENSETZUNG DER MUTTERMILCH MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES EINFLUSSES EXOGENER FAKTOREN AUF DAS FETTSAUREMUSTER SOWIE DEN GEHALT AN FETT UND SPURENELEMENTEN

I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Die Muttermilch wird im allgemeinen als eine in jeder Hinsicht den Bedürfnissen des Säuglings optimal angepaßte Nahrung angesehen. Diese Anschauung stützt sich sowohl auf die Kenntnis der Zusammensetzung der Milch, die genau auf die sich entwickelnden Verdauungsfunktionen des Kindes abgestimmt ist, als auch auf die fördernde Wirkung des Stillens bei der Entwicklung einer intensiven Mutter-Kind-Beziehung.

Da nun aus den verschiedensten Gründen nicht jedes Kind in den Vorzug einer solchen Ernährung kommen kann, muß eine Ersatznahrung angeboten werden, die aufgrund ihrer Zusammensetzung wenigstens aus biochemischer Sicht der Muttermilch ähnelt. Dieses Ziel wird bei der sogenannten "adaptierten" Flaschennahrung üblicherweise durch Entfettung und Anreicherung der Kuhmilch mit Linolsäure angestrebt. Allerdings bleiben dabei die Abhängigkeit des Fettgehaltes vom Reifegrad der Milch und vom Zeitpunkt des Stillens während des Tages, sowie die Veränderungen im Verlauf einer Mahlzeit unberücksichtigt. Der Linolsäuregehalt der Milch steht wiederum in enger Beziehung zu den Ernährungsgewohnheiten der Mutter und wird von der Art und Zusammensetzung des Nahrungsfettes beeinflußt. In Deutschland existieren allerdings nur vereinzelte Untersuchungen über die Auswirkung des höheren Polyensäuregehaltes der Nahrung auf das FS-Muster der Muttermilch.

Aus der Kenntnis dieser zahlreichen Einflußmöglichkeiten auf die Zusammensetzung der Frauenmilch ergeben sich nun folgende Fragen, zu deren Beantwortung die vorliegende Arbeit beitragen soll:

1. Wie groß sind die Schwankungen, denen die einzelnen Bestandteile der Milch interindividuell unterliegen

- können? Das heißt, kann man bei der Zusammensetzung der Muttermilch überhaupt von einer physiologischen Norm in einem bestimmten Laktationszeitraum ausgehen?
2. Sind während der Stillperiode gesetzmäßig auftretende Veränderungen in der Zusammensetzung der Milch zu beobachten, die mit der zunehmenden Reifung erklärt werden können?
 3. In welchem Ausmaß werden solche Veränderungen im Einzelfall durch den Einfluß exogener Faktoren überlagert?
 4. Wie wirkt sich der Kaloriengehalt und die Zusammensetzung der Nahrung auf das Fettsäuremuster der Milch aus?
 5. Gewährleistet die Milch eine ausreichende Versorgung des Säuglings mit Spurenelementen oder besteht bei potentiell toxischen Elementen wie Blei oder Cadmium sogar die Gefahr einer chronischen Intoxikation?

II. LITERATUROBERSICHT

1. Die Milchsekretion

Die Laktation wird entsprechend der Zusammensetzung gepoolter Milchproben in 3 verschiedene Reifungsstadien eingeteilt:

- Kolostrum: 2.- 3.T.p.p.
- transitorische Milch: 7.-12.T.p.p.
- reife Milch: 2.- 3. Laktationsmonat (DROESE, 76)
- reife Milch: 10.T.p.p. (INSULL, 59).

Wie die nachfolgenden Ergebnisse der Milchforschung jedoch gezeigt haben, bestehen bei den einzelnen Frauen so starke Unterschiede in der Zusammensetzung, daß dieses Schema nur als eine willkürliche Unterteilung in verschiedene Zeitabschnitte anzusehen ist.

Das Wachstum der lobulo-alveolären Acini der Brustdrüse während der Gravidität wird durch das Zusammenspiel von Östrogenen, Progesteron und Prolaktin gesteuert. NNR-Steroide und Wachstumshormon können diesen Vorgang unterstützen. Mit dem Zeitpunkt der Geburt fällt der Gehalt an Östrogenen und Progesteron ab, während die Glucokortikoide gleich hoch bleiben oder sogar um das

Zehnfache ansteigen können (MEITES, 66). Zusammen mit der erhöhten Prolaktinkonzentration führen sie zum "Einschießen" der Milch und unterstützen auch weiterhin die Laktation. Da diese Hormone bereits kurz vor der Geburt in ausreichenden Mengen vorhanden sind, kann die Sekretion auch schon vorzeitig einsetzen. Zur Aufrechterhaltung der Laktation sind dann allerdings zusätzlich Insulin und Glucose notwendig (LINZELL, 71; PATTON, 76). Das Auspressen der Milch wird durch den Saugvorgang ausgelöst, der aufgrund der entstehenden sensiblen Reize zu einer Oxytocin- und einer vermehrten Prolaktinausschüttung führt. Oxytocin führt dann über eine Kontraktion der myoepithelialen Zellen zu einer Entleerung der Lobuli.

Wird die Milch nicht periodisch entfernt, so kommt es zu einem Druckanstieg in der Brust, der wiederum einen Ausgleich der Ionenkonzentrationen zwischen Kolostrum und Plasma hervorruft. Nach Ansicht von LINZELL (1971) und PATTON (1976) könnte schon die Lagerung der Milch in den Alveolen und Gängen eine Reabsorption und damit eine Veränderung der Zusammensetzung bewirken. INSULL schließt einen solchen Vorgang zumindest in den Gängen aus, da diese weder sezernieren noch resorbieren können. Die von der Brust täglich sezernierte Milchmenge ist mit 1-2ml/g Gewebe relativ gering und wird von den apokrinen Drüsenzellen aufgebracht. Nach elektronenmikroskopischen Beobachtungen werden im rauen ER Fettvesikel gebildet, die sich dann mit Hilfe Van der Waal'scher Kräfte dem Plasmalemm der apikalen Seite der Zelle nähern. Dort fließen mehrere Vesikel zusammen, werden von der Plasmamembran umhüllt und wahrscheinlich ohne Cytoplasmaverlust als Fettkügelchen mit einem Durchmesser von 1-8µ ausgestoßen (BARGMANN, 1959). Dies bestätigt sich auch in der unterschiedlichen Zusammensetzung der Fettkügelchen in- und außerhalb der Zelle: Nach Ausstoßung enthalten sie zwei für die Plasmamembran typische Substanzen: Phosphatidylamin und Karotinoide. Die letzteren sind für die orange-gelbe Farbe derjenigen Phase verantwortlich, die nach der Zentrifugation den Zellsaft und die Organellen enthält. Dagegen erscheint die Fraktion, in der

sich das innerhalb der Zellen liegende Fett befindet, beinahe farblos.

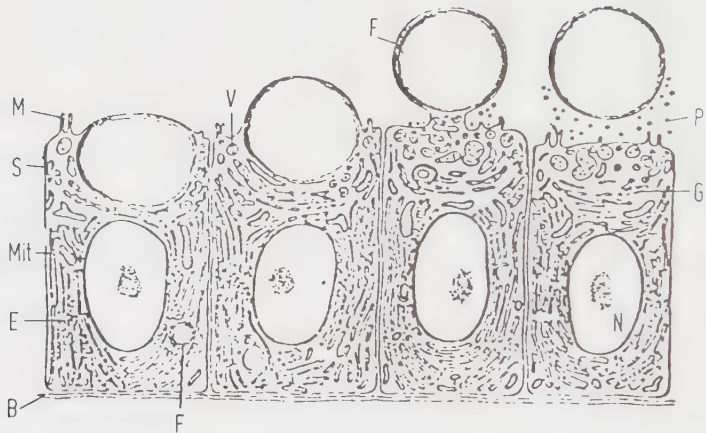


Abb. 1: Sekretion eines Milchfett-Tropfens
(nach BERGMANN u. KNOOP 1959)
(zit. von St. PATTON, 1967)

- B = Basalmembran
- E = Endoplasmatisches Retikulum
- F = Fett
- G = Golgiapparat
- M = Mikrovilli
- Mit = Mitochondrien
- N = Nucleolus
- P = Protein
- S = Syndesmose
- V = Vesikel

2. Zusammensetzung der Muttermilch

Tabelle 1: Die Zusammensetzung der Muttermilch während der drei Laktationsphasen an Hand von Literaturwerten

	Kolostrum	transit.Milch	reife Milch
Fett [g%]	1,69-2,90	2,82-4,00	2,84-4,5
Fettsäuren (= FS)			
gesättigt FS [% der Gesamtfettsäuren]			
C ₄ (Buttersäure)	0,2 - 0,3	-	0,4
C ₆ (Capronsäure)	0,1	-	0,1
C ₈ (Caprylsäure)	0,1 - 0,8	0,1 - 0,25	0,1 - 0,3
C ₁₀ (Caprinsäure)	0,4 - 3,5	1,1 - 2,70	0,8 - 2,2
C ₁₂ (Laurinsäure)	0,9 - 2,6	5,0 - 7,0	3,1 - 7,0
C ₁₄ (Myristinsäure)	2,8 - 5,7	6,3 - 8,76	5,2 - 8,5
C ₁₆ (Palmitinsäure)	23,6 - 27,8	21,0 - 22,5	20,2 - 26,9
C ₁₈ (Stearinsäure)	5,8 - 9,9	7,24- 8,5	5,9 - 9,0
<u>ungesättigte Fettsäuren</u>			
C _{14:1} (Myristoleinsäure)	0,1 - 0,5	0,27- 1,3	0,21- 0,7
C _{16:1} (Palmitoleinsäure)	1,8 - 5,4	2,23- 3,7	2,00- 5,7
C _{18:1} (Ölsäure)	36,0 - 44,2	34,1 - 36,4	33,3 - 46,4
C _{18:2} (Linolsäure)	6,2 - 11,9	6,35-11,6	7,8 - 14,4
C _{18:3} (Linolensäure)	0,3 - 2,2	0,84- 2,0	0,4 - 3,4
<u>Spurenelemente [ppb]</u>			
Cadmium	-	-	10 - 43
Blei	-	-	10,9-277
Mangan	22	63 - 107	15 - 120
Chrom	-	-	40
Kupfer	1340	1040	240 - 510
Zink	20000	3000	600 - 4400

Das Milchfett besteht zu mehr als 98% aus Glyceriden. Davon entfallen 95% auf die Triglyceride (= TG). Außerdem kommen noch Alkoxydiglycerine in einer Konzentration von 10-30mg/dl und Monoglyceriden in geringen Mengen vor. Der Rest setzt sich aus verestertem Cholesterol (weniger als 1%), Phospholipiden (ca. 1%) und ca. 2% freien FS zusammen. Der Gesamtcholesterolgehalt ist mit 30-65mg/ml wesentlich höher als bei der Kuhmilch (13-15mg/ml).

Außer den zuvor erwähnten FS kommen in der Muttermilch noch ungeradzahlige FS (C₁₅+C₁₇ : 2%, C₁₉-22 : 5%), 7% iso-Ölsäuren, vielfach ungesättigte FS bis zu den Hexanen und langkettige verzweigte FS in Spuren vor. Der mit den üblichen Methoden nicht identifizierbare Rest von 0,8% besteht wahrscheinlich aus verzweigt-kettigen FS mit einer Kettenlänge von 13-18 C-Atomen.

Nach der Arbeit von WATTS (1968) nähert sich die Zusammen-

setzung der TG-Moleküle erst zwischen dem 3. und 9.T.p.p. einer Zufallsverteilung der gesättigten und ungesättigten Fettsäuren. Die durchschnittliche Kettenlänge der FS in den TG wird mit 16 C-Atomen angegeben. 42,7% der Triglyceride enthalten zwei und nur 8,6% drei ungesättigte Fettsäuren. Bei einem Anteil der Ölsäure von 33% an den Gesamt-FS sind also 1 bzw. 2 Stellen des Moleküls von der C_{18:1}-FS besetzt. Die Linolsäure als zweithäufigste ungesättigte FS wird ebenfalls recht häufig in diesen TG angetroffen. In 39,6% aller TG wird eine Kombination von C_{16:0}, C_{18:1} mit Stearinsäure(C_{18:0}) bzw. mit mittellangen FS der Kettenlänge C₁₀-C₁₄ beobachtet.

GLYCERID-ARTEN	MOL % D. GESAMTGLYCERIDE
<u>VOLL GESÄTTIGTE FS.</u>	
Di-C ₁₀₋₁₄ -monopalmitins.	1.7
Mono-C ₁₀₋₁₄ -dipalmitins.	1.7
Mono-C ₁₀₋₁₄ -palmitostearins.	5.7
	9.1
<u>1-FACH UNGESÄTTIGTE- 2-FACH GESÄTTIGTE FS.</u>	
1x ungesättigte C ₁₀₋₁₄ -Palmitins.	20.3
1x ungesättigte C ₁₀₋₁₄ -Stearins.	1.9
1x ungesättigte Dipalmitins	3.5
1x ungesättigte Palmitostearins.	13.9
	39.6
<u>2-FACH UNGESÄTTIGTE- 1-FACH GESÄTTIGTE FS.</u>	
Mono-C ₁₀₋₁₄ - 2 fach ungesättigt	23.6
Palmito- 2 fach ungesättigt	19.1
	42.7
<u>3-FACH UNGESÄTTIGTE FS.</u>	8.6

Tabelle 2: Wahrscheinliche Zusammensetzung des menschlichen Milchfettes nach HILDITCH u. MEARA (aus GARTON, 1963)

- * fast nur Mono-ölsäure-glyceride
- + enthält ein Radikal Linolsäure oder eine andere ungesättigte FS, die übrigen ein (oder 2) Radikale sind Ölsäure.

Die Palmitinsäure kommt in 90% in Form von Monopalmitoglyceriden vor. FS kürzerer Kettenlänge (C<16) findet man in Glyceriden, die verschiedene Acylgruppen aufweisen (z.B. C_{16:0} und C_{18:1}) (GARTON, 63). Intramolekular

besteht eine auffallende Tendenz zahlreicher FS für eine Veresterung in einer bestimmten Position. Palmitinsäure wird bevorzugt in der 2-er Position mit dem Glycerol verestert. Die entstehenden TG weisen ein hohes Molekulargewicht auf, wobei die $C_{16:0}$ -FS zirkulierenden Blutfetten entstammt, wie die Versuche von DIMICK (1966) eindeutig gezeigt haben. Aber schon PATTON konnte 1965 nachweisen, daß die gleiche FS bei Triglyceriden mit niedrigerem Molekulargewicht auch in der 3-er Position vorkommen kann. Allerdings vermutet man, daß in diesen Fällen die Palmitinsäure der Eigensynthese der Brust entstammt. Den Beweis dafür erbrachte DIMICK (1966), indem er mit radioaktiv markierter $C_{16:0}$ -Fettsäure Tiereuter perfundierte. Die nachweisbare Aktivitätsminderung beruhte auf einem Verdünnungseffekt durch selbst synthetisierte, und daher nicht markierte Palmitinsäure.

In Obereinstimmung mit den Ergebnissen von FOLLEY (1961), BARRY (1963), PATTON (1976), sah auch GARTON (1963) Azetat und β -Hydroxybutyrat als C-Quelle der langkettigen FS an. Mit Hilfe seiner a.v.-Differenzmessungen wies BARRY (1963) nach, daß weder Azetoazetat noch freies Glycerol von der Brustdrüse aufgenommen werden. Eine mögliche Fehlerquelle bei diesen Arbeiten findet sich jedoch in der Anwesenheit der Lipoproteinlipase in der Brust und im Blut. Da dieses Enzym im venösen Teil eine höhere Konzentration aufweist als im arteriellen, könnte sie durch Hydrolyse der Plasmalipoprotein-TG eine Verminderung der a.v.-Differenz des freien Glycerols und der freien FS hervorrufen. Dadurch kann eine fehlende Aufnahme dieser Substanzen vorgetäuscht werden.

Aufgrund der Arbeiten von ROBINSON (1963) und ANNISON (1933) ist jedoch bekannt, daß vor allem in Hungerperioden $C_{16:0}$, $C_{18:0}$ und $C_{18:1}$ auch als freie FS von der Brustdrüse aus dem Blutstrom aufgenommen werden können.

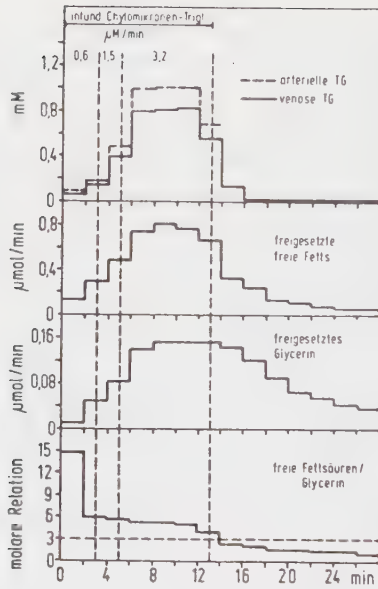


Abb. 2: Perfusion der laktierenden Brustdrüse der Ratte mit markierten Chylomikron-Triglyceriden. Messung der markierten Glyceride, freien Fettsäuren und des Glycerol in venösen Blutproben (nach MENDELSON, 1972)

FFA = freie Fettsäuren

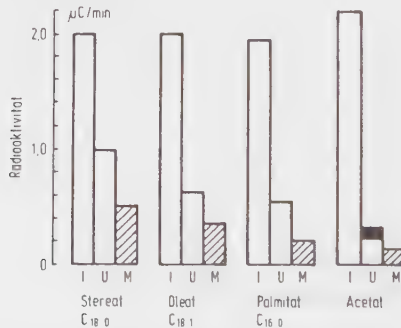
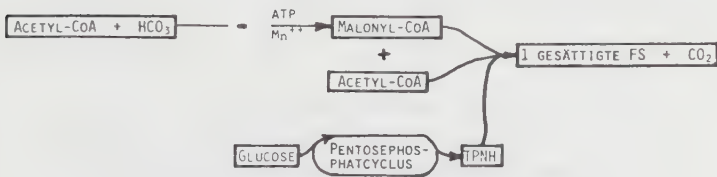


Abb. 3: Radioaktives Gleichgewicht am Ende der Infusion markierter FS u. Azetat I = Infusionsrate, U = Aufnahme durch den Euter, M = Radioaktivität in der Milch. Der schwarze Balken repräsentiert die durch die Brustdrüse oxidierte Menge Azetat (nach ANNISON, 1967)

ANNISON (1933) wies folgende Hauptquellen für die FS in der Milch nach: C_{4-14} -FS entstehen ausschließlich aus dem Azetat des Blutes, während $C_{16:0}$ zusätzlich noch aus Plasma-TG gebildet werden können.

In der Brustdrüse geht die Bildung der FS bis zu einer Kettenlänge von 16 C-Atomen nach folgendem Schema vor sich:



Durch ein in der Brust vorhandenes Desaturasesystem können aus den entstandenen gesättigten auch ungesättigte FS gebildet werden. Als weitere Quellen dienen aus dem Blut aufgenommene ungesättigte FS oder Ketonkörper wie z.B. B-Hydroxybutyrat. Mit Hilfe von a.v.-Differenzmessungen bei $C_{16:0}$, $C_{18:0}$ und $C_{18:1}$ wurde nachgewiesen, daß der größte Teil der Stearinsäure durch das zuvor erwähnte Desaturasesystem in der Brust in die Ölsäure umgewandelt wird (HILDITCH, 1956; GARTON, 1963). So kommen im venösen Blut $C_{16:0}$ und $C_{18:0}$ in geringeren, $C_{18:1}$ dagegen in größeren Mengen vor als im arteriellen Schenkel. Gleichzeitig ist der Gehalt an Ölsäure in der Milch etwa 4 x so hoch wie die Konzentration der Stearinsäure, so daß man annehmen muß, daß unter normalen Bedingungen von der Brust die $C_{18:1}$ -FS nicht aufgenommen wird.

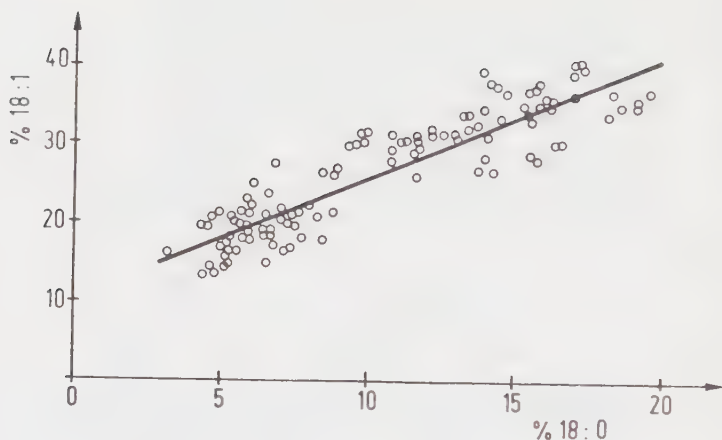


Abb. 4: Der $C_{18:1}$ -Gehalt der Milch als Funktion des $C_{18:0}$ -Gehaltes während der Zufuhr verschiedener Fette (nach BANKS, 1975)

Alle C_{18} -FS stammen nach der übereinstimmenden Ansicht von GLASCOCK (1958), BARRY (1964) und ANNISON (1933) fast ausschließlich aus denjenigen TG, die in der Gruppe der Chylomikronen und der β -Lipoproteine (LDL, $d < 1,019$) im Blut vorkommen. BISHOP (1969) dagegen sah in den Lipoproteinen zwar die wesentlichste, aber nicht die einzige Vorstufe des MilCHFettes. In mehreren Arbeiten wurde nachgewiesen, daß die FS auch in Form von Cholesterolestern und Phospholipiden von der Brust aufgenommen und z.T. metabolisiert werden können (GARTON, 1963). Die Aufnahme der FS aus den TG wird durch die Aktivität der LP-Lipase gefördert (MENDELSON, 1972). Ebenso wie BARRY (1963) nimmt auch er an, daß das entstehende Glycerol in der Brust zumindest für die Bildung von Teilglyceriden verwendet wird. Von Interesse ist, daß bei einer Unterbrechung des Saugvorganges die Lipaseaktivität stark absinkt. In den Versuchen von MENDELSON (1972) kam es sogar zu einer Verminderung der Aufnahme und Hydrolyse perfundierter Chylomikronen-TG um 80%.

Mit Hilfe radioaktiv markierter Palmitinsäure konnte BISHOP (1969) nachweisen, daß bei der Passage der FS des Blutes in die Milch nur eine sehr geringe Kettenverlän-

gerung bzw. -verkürzung erfolgt. So wurden 94,6% der gesamten Radioaktivität des MilCHFettes wieder in der Gruppe der C_{16} -FS gemessen. 4,6% wurden in längeren und nur 0,8% in kürzeren FS nachgewiesen.

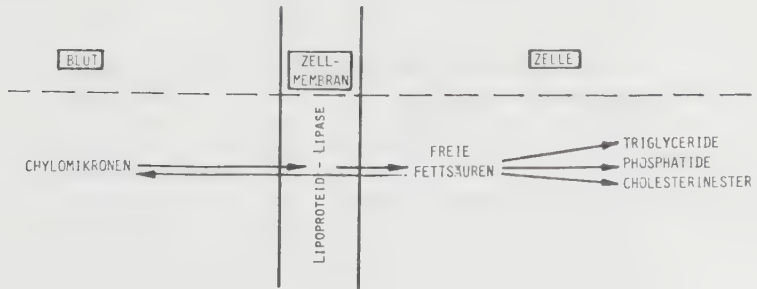


Abb. 5: Die Spaltung der Chylomikronen durch die Lipoproteinlipase in freie Fettsäuren und deren Weiterverwendung in der Zelle

Die in Eigensynthese entstandenen oder durch Hydrolyse von Plasmatriglyceriden freiwerdenden FS werden in aktivierter Form als Acyl-CoA-FS mit Glycerophosphat zu Glyceriden vereinigt. Dabei kann das Glycerophosphat entweder durch Phosphorylierung von freiem Glycerol, das nach Hydrolyse der Plasmatriglyceride entsteht, oder direkt durch Umwandlung von Plasmaglukose gebildet werden.

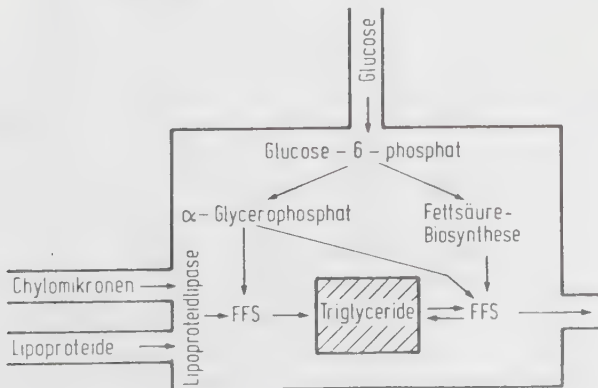


Abb. 6: Die Glukose in ihrer Bedeutung beim Fettstoffwechsel

Zusätzlich kann auch Lactose als Vorstufe des Glycerols dienen. Während bei Experimenten mit markierter Glucose bis zu 70% der infundierten Menge von der Brust aufgenommen werden können, beträgt dieser Prozentsatz unter normalen Bedingungen (d.h. bei niedrigerer Glucoseaufnahme) nur 20% (GARTON, 1963).

3. Einfluß exogener Faktoren auf die Milchezusammensetzung

3.1 Anzahl der Geburten

Zwischen Prima- und Multiparae konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede im Fettgehalt und im FS-Muster beobachtet werden (HYTTEN, 1954; READ, 1965).

Bei den Multiparae fiel auf, daß in den vorausgegangenen Stillperioden sowohl Laktationsdauer als auch Fettgehalt und Volumen der Milch verschieden waren (HYTTEN, 1954). Man kann also annehmen, daß diese Parameter bei der einzelnen Frau nicht streng genetisch festgelegt sind, sondern wahrscheinlich unter dem Einfluß äußerer Faktoren innerhalb eines großen Streubereiches liegen können.

3.2 Alter

Mit zunehmendem Alter sinkt die Milchproduktion sowohl bei Prima-als auch bei Multiparae zwischen dem 2. und 7. Laktationstag (= L.T.) ab (s. Abb. 7).

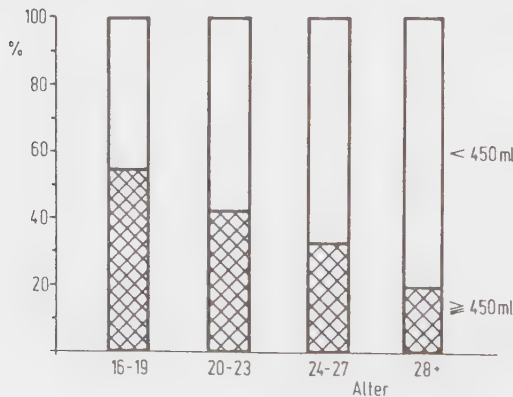


Abb. 7: Die Beziehung des Alters der Mutter zum Milchvolumen am 7. Tag p.p. (nach HYTTEN, 1954)

Dieser Abfall beträgt zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr im Mittel 40%. Als Ursachen dafür werden die Abnahme funktionellen Brustgewebes und ein geringeres Ansprechen auf eine Schwangerschaft diskutiert (HYTTEN, 1954). Dieser Abfall ist bei den Multiparae geringer ausgeprägt, so daß sie im Durchschnitt ein größeres sezerniertes Milchvolumen aufweisen als die Primiparae.

3.3 Körpergröße und Ernährungszustand

Das Milchvolumen ist zwar von der Größe, nicht aber von einer bestehenden Adipositas der Mutter abhängig. Nach WARDLAW und DART (1934; zit.n. HYTTEN, 1954) steigt mit zunehmender Körperlänge auch die sezernierte Milchmenge. Beim Fettgehalt der Milch konnte allerdings weder ein Zusammenhang mit dem Ernährungszustand noch mit der Körpergröße der Mutter gefunden werden.

In seinen Untersuchungen von 1954 beobachtete HYTTEN jedoch, daß die sezernierte Milchmenge umso geringer war, je mehr die Mutter nach der Geburt zugenommen hatte. Er vermutet, daß in Abhängigkeit von der jeweiligen Ernährung bei einigen Frauen die Nährstoffe auf Kosten des mütterlichen Fettgewebes für Schwangerschaft und Milchproduktion verbraucht werden, während in den anderen Fällen hauptsächlich eine Ablagerung im Fettgewebe stattfindet. Da das untersuchte Kollektiv aber sehr klein war, darf das Ergebnis nicht als statistisch signifikant angesehen werden.

3.4 Zeitpunkt des Stillens

3.4.1 Änderungen während einer Mahlzeit

Anstieg des Fettgehaltes. Nach LUCIGNANI (1934) wird der Maximalwert 10 Minuten nach Beginn des Stillens erreicht, gefolgt von einem Absinken der Fettkonzentration. Bei einer 16-minütigen Stilldauer werden vom Säugling in den ersten 5 Minuten 60% des Milchvolumens, mehr als 40% des Gesamtfettgehaltes und mehr als 50% der gesamten Energie aufgenommen. Aufgrund der veränderten Zusammensetzung der Milch gegen Ende der Mahlzeit, die sich in der Dichte, dem Geschmack und dem Duft äußert, entwickelt sich beim Baby ein "Appetitkontrollmechanismus". Dieser

bewirkt, daß in den letzten Minuten nur noch 13% des Volumens, 25% des Gesamtfettes und 1/6 der Energie mit der Milch aufgenommen werden (HALL, 1975).

HYTTEN stellte 1954 allerdings Unterschiede in der Regelmäßigkeit und dem Ausmaß des Anstieges des Fettgehaltes fest. Seiner Meinung nach beruht dieser Mechanismus auf einer mechanischen Adsorption der Fettkügelchen an der großen sekretorischen Oberfläche und in den Gängen. Da der Anstieg umso größer ist, je mehr Zeit für die Adsorption zur Verfügung steht, ist er in der Brust am stärksten ausgeprägt, an der bei der letzten Mahlzeit zuerst gestillt wurde. Bei der üblichen abwechselnden Stilltechnik hatte die Milch dieser Seite etwa eine Stunde mehr Zeit für den Adsorptionsvorgang, die andere, noch Restmilch enthaltende Brust weist dagegen bei einem höheren Anfangsfettgehalt einen geringeren Anstieg auf. Die Unregelmäßigkeit des Anstieges läßt sich durch nicht gleichzeitig agierende Lobuli erklären. Später mit der Sekretion beginnende Lobuli verdünnen mit ihrem geringen Anfangsfettgehalt die bereits fettreichere Milch (HYTTEN, 1954). Nach MACY (1931) dagegen beruht die Variation in der Milchezusammensetzung auf der ansteigenden Zellaktivität aufgrund der mechanischen Stimulation beim Stillen. Wenn sich allerdings etwa nach dem 9.T.p.p. die Laktation eingependelt hat, können nach INSULL (1958) keine Unterschiede in der täglichen Fettproduktion beider Brüste mehr nachgewiesen werden. Diese beträgt bei einer Milchmenge von 723g/Tag etwa 24 - 30 g. Gleichzeitig von beiden Brüsten abgenommene Milchproben enthalten etwa gleich große Mengen an FS und Polyenen (INSULL, 1959; READ 1965).

Die folgende Zeichnung faßt die während des Stillens auftretenden Veränderungen der Milchezusammensetzung nochmals zusammen.

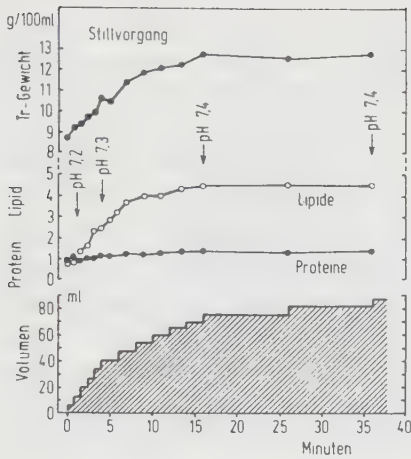


Abb. 8: Veränderungen der Milchezusammensetzung während einer Mahlzeit: fortlaufende Analyse der Milch einer Frau (nach HALL, 1975)

3.4.2 Änderungen innerhalb eines Tages

Der Fettgehalt steigt von einem Minimum um 6 Uhr morgens stark an und erreicht um 10 Uhr vormittags seinen Höchstwert. Anschließend werden wieder abfallende Konzentrationen gemessen. Dieser Verlauf ist in der reifen Milch am stärksten ausgeprägt, während das Kolostrum außer einem flachen Konzentrationsanstieg gegen Mittag noch große Unregelmäßigkeiten aufweist (HYTTEN, 1954; GUNTHER, 1968).

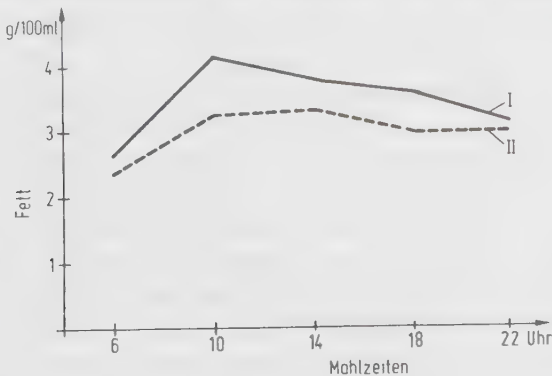


Abb. 9: Mittlere Variation im Fettgehalt im Verlauf eines Tages. I: Milch nach dem 21. Laktationstag II: Kolostrum (nach HYTTEN, 1954)

Das Milchvolumen erreicht sein Maximum gegen 6 Uhr morgens, um dann auf fast konstante Werte abzufallen. Da trotz der entgegengesetzten Verläufe dieser beiden Parameter kein gleichhoher Fettgehalt/Mahlzeit besteht, wird die Hälfte der täglichen Fettproduktion bereits mit den ersten 2 Mahlzeiten verfüttert (HYTTEN, 1954).

In den Untersuchungen von GUTHRIE (1977) waren die Mittelwerte der einzelnen Fettsäuren im Laufe des Tages nicht signifikant verschieden. Für eine fehlende Änderung im FS-Muster spricht auch die Korrelation zwischen den Morgen-, Mittags- und Abendwerten beim Gesamtfett- und dem Linolsäuregehalt. Außer bei der $C_{16:1}$ und der $C_{18:3}$ -FS war dieses Verhalten auch bei den übrigen FS nachweisbar.

3.4.3 Änderungen im Verlauf der Stillperiode

3.4.3.1 Fettgehalt

Trotz großer Schwankungen bis gegen Ende der ersten Laktationswoche steigt die absolute Fettmenge in der Milch stark an. Die zu Anfang noch fehlende Konstanz der Fettkonzentration beruht auf dem z.T. schnelleren Anstieg des Milchvolumens, das ebenfalls großen individuellen Schwankungen unterworfen ist (INSULL, 1959). Im Gegensatz zum Proteingehalt gibt es für die Fettkonzentration keine physiologische Norm und demnach auch keine unterschiedliche Reifungsgeschwindigkeit.

Die bestehende Korrelation ($r = + 0,88$) zwischen dem Fettgehalt des 7. Tages und dem der reifen Milch bestätigt, daß die anfänglichen individuellen Unterschiede bis gegen Ende der Laktation andauern. Dabei ist der für die einzelne Frau typische Fettgehalt bereits zu Beginn des 2. Laktationsmonats erreicht und ändert sich während des 2. und 3. Laktationsmonates nur noch geringfügig. Die Normalverteilung der Fettkonzentration vom 7.L.T. erscheint in der reifen Milch um 0,5 g% nach rechts verschoben (HYTTEN, 1954).

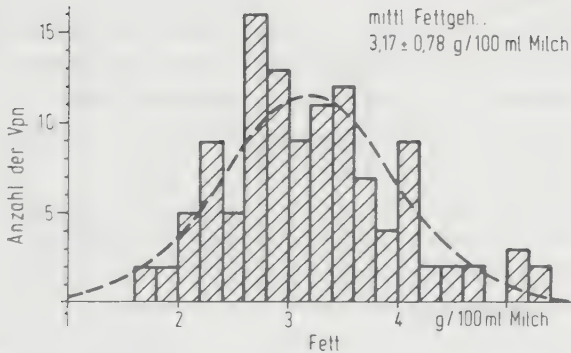


Abb. 10: Die Häufigkeitsverteilung des MilCHFettgehaltes am 7. Laktationstag (nach HYTTEN, 1954)

Die Zunahme des Fettgehaltes ist als Ausdruck der Reifung der Milch zu verstehen und läuft mit dem Absinken der Phospholipidkonzentration parallel. Gleichzeitig steigt auch der Energiegehalt der Frauenmilch an.

Kolostrum	54 kcal/dl
transitor. Milch	62 kcal/dl
reife Milch	67 kcal/dl.

Dabei vergrößern sich mit zunehmender Reifung die prozentualen Anteile des Gesamtfettes, der gesättigten FS und der Linolsäure am Energiegehalt. In Frauenmilch ist der Anteil des Fettes am Gesamtkaloriengehalt etwa gleich groß wie in Kuhmilch (48 kcal%). Dagegen liefern die gesättigten FS mit 13-27 kcal% einen geringeren und die Linolsäure mit 3,3-5,6 kcal% einen größeren Beitrag zum Energiegehalt (DROESE, 1976).

3.4.3.2 Fettsäuren

Bei den Fettsäuren konnte in allen Arbeiten (DROESE, 1976; READ, 1965; BALDWIN, 1944) übereinstimmend ein Ansteigen der mittelkettigen ($C_{10:0}$, $C_{12:0}$) und der langkettigen $C_{14:0}$ -FS beobachtet werden. Dies wird mit dem beschleunigten Syntheseprozess dieser FS aus Azetat oder Kohlenhydraten in den ersten 3 Tagen p.p. erklärt. DROESE (1976) fand nur einen geringen prozentualen Anstieg der gesamten langkettigen FS. Bei den einzelnen Autoren (BALDWIN, 1944; DROESE, 1976) fanden sich im Fall der Palmitin- und der Stearinsäure eindeutige Unterschiede

im Verlauf. Während man im Fall der $C_{16:0}$ -FS insgesamt eher von einer abfallenden Tendenz sprechen kann, ist bei der $C_{18:0}$ -FS kein eindeutiger Verlauf erkennbar (DROESE, 1976; READ, 1965; BALDWIN, 1944).

Faßt man die mittelkettigen und langkettigen FS zusammen, so kommt es im Verlauf der Laktation zu einem Anstieg des Gehaltes an gesättigten FS. Gleichzeitig sinkt der prozentuale Anteil der ungesättigten FS an den Gesamtfettsäuren. An diesem Abfall sind hauptsächlich die Monoensäuren beteiligt, während die Polyensäuren in ihrem Gehalt relativ konstant bleiben. Der geringere Anteil der Monoensäuren in der reifen Milch beruht zum größten Teil auf einem Absinken des Ölsäuregehaltes. Allerdings ergaben sich bei den meisten Arbeiten keine statistisch signifikanten Änderungen im Verlauf der Laktation. Das Verhalten der Palmitoleinsäure ($C_{16:1}$) wird ebenfalls von den einzelnen Autoren unterschiedlich beschrieben (DROESE, 1976; READ, 1965; BALDWIN, 1944). Unter den Polyensäuren kam es bei der $C_{18:2}$ -FS nach einem leichten Abfall innerhalb der ersten 3 Tage p.p. zum Ansteigen der Werte mit zunehmender Reifung (READ, 1965; BALDWIN, 1944; DROESE, 1976). Dagegen wurde bei der Linolensäure ($C_{18:3}$) und den übrigen langkettigen Polyensäuren abnehmende Konzentration gefunden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß mit zunehmender Eigensynthese die Aufnahme der aus den Bluttriglyceriden stammenden FS nachläßt. Dies äußert sich im Anstieg der Laurin- und Myristinsäure und dem abnehmenden Gehalt der Milch an Palmitin-, Stearin- und Linolsäure. Bei Anwendung der Varianzanalyse auf Gruppen konnte GUTHRIE (1977) keine statistisch signifikanten Unterschiede im FS-Muster nachweisen. Berechnet man jedoch im Einzelfall die Korrelation dieser FS, so stellen sich die täglichen Änderungen im Gehalt der $C_{16:1}$, $C_{18:1}$ und $C_{18:3}$ -Fettsäuren als signifikant heraus. Im Fall der $C_{12:0}$, $C_{14:0}$ und $C_{18:2}$ -FS konnte eine derartige Feststellung jedoch nicht gemacht werden.

3.4.3.3 Spurenelemente

Im Schrifttum finden sich nur wenige Angaben über den

Konzentrationsverlauf der Spurenelemente: Ein Absinken des Gehaltes an Kupfer (KLEINBAUM, 1962) Zink (HAMBIDGE, 1977; MACY, 1953) und Cadmium (HAMBIDGE, 1977) und eine ansteigende Tendenz bei Mangan mit zunehmender Reifung (OZOL, 1960) werden beschrieben.

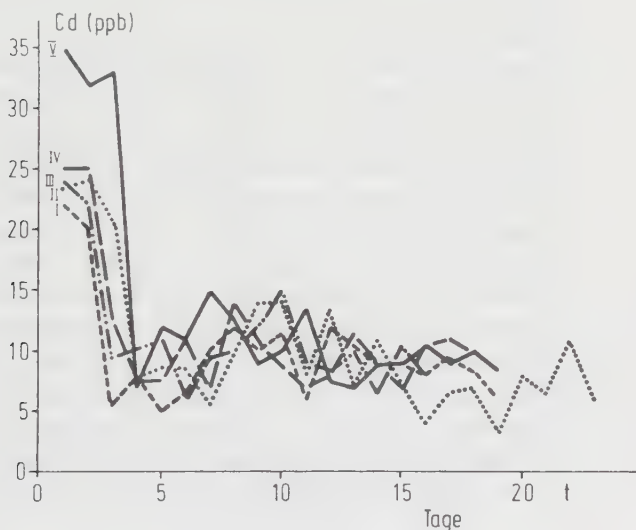


Abb. 11: Cadmiumspiegel in Frauenmilch während der Laktation (I - V: Individualverläufe) (nach SCHULTE-LÜBBERT, 1977)

3.5

Der Einfluß der Nahrungszusammensetzung

Die stärksten Änderungen im FS-Muster werden bei fettfreier Diät beobachtet, während eine beliebige Ernährung nur einen geringen Einfluß auf die Milchzusammensetzung ausübt (INSULL, 1959). In diesem Fall enthält die Nahrung weder excessive Mengen an Fett noch an Kohlenhydraten. Die im Blut erscheinenden Bestandteile können so schnell von den Zellen aufgenommen werden, daß sich innerhalb von 24 Std. nur geringe Änderungen in der Blut- und damit auch in der Milchzusammensetzung ergeben (READ, 1965). INSULL (1959) postuliert einen Zwischenspeicher für die Nahrungsfettsäuren, aus dem sie erst später in die Milch gelangen. Nach PATTON (1976) wäre es denkbar, daß in Analogie zum Brustdrüsenaufbau der Ratte auch beim Menschen dem eigentlichen Vorgang der Milchsynthese

und des Metabolismus Fettgewebszellen vorgeschaltet sind. Auf diese Weise werden Unregelmäßigkeiten in der Nahrungsaufnahme vom Körper selbst ausgeglichen. Erst stärkere Unterschiede in der Zusammensetzung machen sich nach einigen Tagen in einem veränderten FS-Muster der Milch bemerkbar.

3.5.1 Fettgehalt

Entsprechend der Höhe der täglichen Fettaufnahme teilte KARMARKAR (1960) das Kollektiv seiner Versuchspersonen in 4 Gruppen auf. Dabei stellte sich heraus, daß der fettreicheren Nahrung jeweils auch eine statistisch signifikant höhere Fettkonzentration in der Milch entsprach ($p > 0,05$). Der Korrelationskoeffizient betrug 0,7932. Hatte die Fettaufnahme mit der Nahrung jedoch einen bestimmten Wert erreicht, so ließ sich der MilCHFettgehalt nicht mehr weiter steigern. Diese Ergebnisse wurden durch INSULL (1959) bestätigt, der bei fett- und kalorienreicher Ernährung die höchste MilCHFettproduktion beobachtete. Durch eine Änderung der Nahrung konnte wiederum kein Einfluß auf die MilCHFettmenge ausgeübt werden.

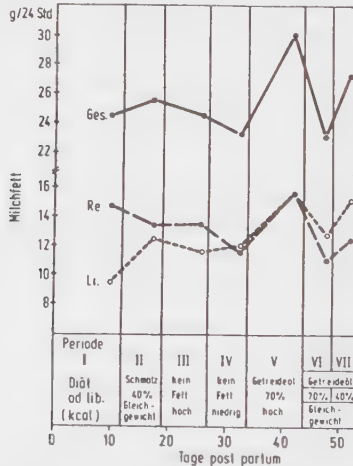


Abb. 12: Die tägliche MilCHFettproduktion unter verschiedenen experimentellen Diäten (nach INSULL, 1958)

Von zahlreichen Autoren wird allerdings vermutet, daß die Variation im Fettgehalt der Milch bis zu einer Fettmenge in der Nahrung von 250g/Tag sehr gering ist (GUNTHER, 1968).

3.5.2 Fettsäuren

Bei den C_{16} - und C_{18} -FS ergab sich bei Verfütterung verschiedener Kontrolldiäten an Kühe eine positive Korrelation zwischen der Aufnahme mit der Nahrung und der Abgabe in die Milch (BANKS, 1976). Allerdings war im Fall der C_{16} -FS die Abgabe immer größer als die Aufnahme, so daß sich auch hier wieder bestätigt, daß ein bestimmter Prozentsatz der Palmitinsäure von der Brust selbst synthetisiert wird. Dieser beträgt nach Ansicht von BARRY (1963), BISHOP (1969) und ANNISON (1967) etwa 30%, während die übrigen 70% den Blut-TG entstammen. Durch eine Reduktion der Eigensynthese läßt sich auch erklären, daß bei erhöhter Aufnahme mit der Nahrung der Gehalt an $C_{16:0}$ initial abfällt. Während nach Ansicht von BANKS (1976) ein wirksamer Transfer dieser FS aus dem Blut in die Milch als gesichert angesehen werden kann, erscheinen nur 50% der vermehrt mit der Nahrung zugeführten C_{18} -FS in der Milch.

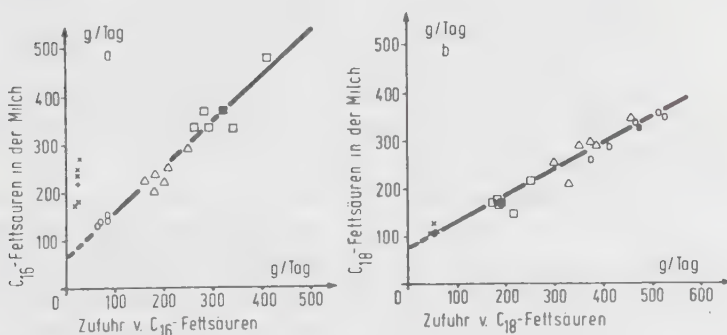


Abb. 13: Die Beziehung der täglichen Aufnahme von C_{16} und C_{18} -FS mit der Nahrung und ihrer Menge im Milchfett. x: Kontrolldiät, o: Soyaöl, Δ: Schmalz, □: $C_{16:0}$ -reiches Fett (nach BANKS, 1976)

Mit Hilfe verschiedener experimenteller Diäten konnte der Einfluß der Nahrungszusammensetzung auf das FS-Muster der Milch aufgedeckt werden:

3.5.2.1 Oberangebot an Kalorien in Form von Kohlenhydraten (75%), kein bzw. wenig Fett (7%):

Neben ihrer blutzuckererhöhenden Wirkung haben die KH als Vorläufer der Fettsäuren und des Glycerol eine wichtige Funktion zu erfüllen. Sowohl das reaktiv ausgeschüttete Insulin als auch Glycerol stimulieren in der laktierenden Brust die endogene FS-Synthese. Gleichzeitig wird die Aufnahme von Triglyceriden aus dem Blut reduziert (BARRY, 1963). Dies führt in der Milch zu einem deutlichen Anstieg der $C_{12:0}+C_{14:0}$ -FS, während alle C_{18} -FS und die Polyene absinken. Der Gehalt an Palmitin und Palmitoleinsäure bleibt dagegen relativ konstant. Der beschriebene Anstieg der Laurin- und Myristinsäure ist im Serum allerdings nicht nachweisbar (INSULL 1959).

Bei sonst gleichen Ergebnissen fand READ (1965) einen unveränderten Gehalt an Linolensäure und ein Absinken der Palmitinsäure. Dabei stellte sich eine positive Korrelation zwischen $C_{16:0}$ und $C_{18:0}+C_{18:1}$ und eine negative zwischen $C_{16:0}$ und $C_{12:0}+C_{14:0}$ heraus. Dies kann als weiterer Beweis für die überwiegend extramammäre Herkunft der Palmitinsäure angesehen werden (READ, 1965b).

Als Erklärung für die maximale Stimulierung der Eigensynthese bei dieser Ernährung werden die folgenden 2 Thesen diskutiert:

- a) Das Fettgewebe setzt sich unter diesen Bedingungen zu 75% aus $C_{18:0}$, $C_{18:1}$ und $C_{16:0}$ zusammen, während in der Milch $C_{12:0}$, $C_{14:0}$ und $C_{16:0}$ 60% der gesamten FS ausmachen. Berücksichtigt man, daß die Brustdrüse eine geringere Synthesekapazität für ungesättigte FS besitzt, so würden aus den KH der Nahrung hauptsächlich längere gesättigte FS entstehen, die den Schmelzpunkt der Milch über die Körpertemperatur hinaus erhöhen würden. Durch die Synthese von Laurin- und Myristinsäure wird dagegen eine Erniedrigung des Schmelzpunktes erreicht (INSULL, 1959).

- b) Für die Vermutung, daß in der Brust ein Mangel an Enzymen herrscht, die über eine Kettenlänge von C_{14} - C_{16} hinaus Azetatstücke anfügen können, sprechen zwei Tatsachen: Der Abfall aller C_{18} -FS unter diesen Nahrungsbedingungen und der von POPJAK (1951) beobachtete Abbruch der FS-Synthese nach dem Kohlenstoffatom Nr.16 (INSULL, 1959).

Bei ähnlichem Kaloriengehalt, jedoch einem etwas höheren Fettanteil (25% Schmalz) in der Nahrung fand KRAMER (1965) in der Milch erwartungsgemäß einen geringeren Anteil an $C_{12:0}$ und $C_{14:0}$, jedoch einen höheren Gehalt an $C_{16:0}$ und $C_{16:1}$, die ja in beträchtlichen Mengen in diesem Nahrungsfett enthalten sind. Nach der Umstellung auf linolsäurereiches Sonnenblumenöl konnte dann ein starker Anstieg der Konzentration an $C_{18:2}$ in der Milch gemessen werden. Im Blut waren gleichartige Veränderungen zwischen dem 4. Tag in der Phospholipidfraktion und dem 12. Tag in der TG-Fraktion nachweisbar. Wird der Hauptanteil der KH während den ersten zwei Mahlzeiten des Tages aufgenommen, so erreichen die beschriebenen Veränderungen 9 Std. nach der Hauptmahlzeit (gegen Mitternacht) ihr Maximum. Die niedrigsten Werte werden am nächsten Vormittag gemessen (READ, 1965b). Allerdings wurde dieser zeitliche Verlauf der Veränderungen bei Frauen beobachtet, deren Nahrung schon üblicherweise Kalorien- und KH-reich war. Handelte es sich dagegen um einen experimentellen Nahrungswechsel, so wurde das Maximum der Veränderungen im FS-Muster erst nach 2-4 Tagen erreicht (INSULL, 1959), obwohl sie schon nach 8 Std. eindeutig nachweisbar waren (GUNTHER, 1968).

3.5.2.2 Kaloriendefizit, kein Fett:

Durch diesen Nahrungstyp wird der Transfer aus dem Depotfett in die Milch stimuliert, deren FS-Muster sich in der Zusammensetzung dem Fettgewebe angleicht. Die gleichen Veränderungen werden bei beliebiger 40%-fetthaltiger Ernährung angetroffen (READ, 1965; INSULL, 1959).

3.5.2.3 Überangebot an Kalorien in Form von Fett

- a) (z.B. Kornöl = Maiskeimöl 70%)

Bei dieser Ernährung kommt es entsprechend der Zusammensetzung des Fettes zu einem 5-fachen Anstieg der Linol-

und der Linolensäure, während der Gehalt an gesättigten FS gleichzeitig abnimmt. Im Vergleich mit dem gleichgerichteten Verlauf aller Polyene bei der Kalorien- und KH-reichen Ernährung, handelt es sich hierbei vorwiegend um ein Ansteigen der Diene (speziell der $C_{18:2}$ -FS), bei einem unveränderten Gehalt an Tetraenen.

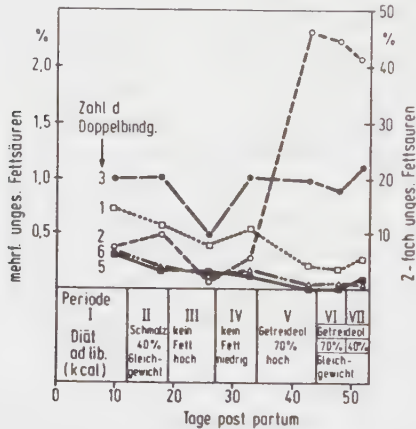


Abb. 14: Der Verlauf der Polyensäuren unter verschiedenen experimentellen Diäten (INSULL, 1959)

Die Versuche, die STORRY (1964) an Kühen durchführte, haben gezeigt, daß die aus dem Nahrungsfett stammenden vielfach ungesättigten FS auch noch 2 Tage nach Absetzen der Versuchsdiät in sehr hohen Konzentrationen nachzuweisen sind, während alle übrigen FS schon einen Tag später wieder ihren ursprünglichen Anteil an den Gesamtfettsäuren erreicht haben. Begleitet wird der Anstieg des Fettgehaltes, der Linol- und Linolensäure von einem kompensatorischen Konzentrationsabfall der Stearin- und Ölsäure in der Milch. Auch alle übrigen FS erscheinen in der Milch in den gleichen Proportionen wie im Nahrungsfett. Spiegelbildlich zur kohlenhydratreichen Ernährung war unter der fettreichen Diät gegen Mitternacht ein Minimum im Gehalt an $C_{12:0}$ und $C_{14:0}$ meßbar. Gleichzeitig erreichten die aus den Blut-TG stammenden FS ($C_{18:0}$, $C_{18:1}$, $C_{18:2}$ und teilweise $C_{16:0}$) ihren höchsten Wert. Zu diesem Zeitpunkt werden 82% der Gesamtfettsäuren von ihnen gebildet. Anschließend fällt ihr Anteil auf 76% ab, während die $C_{12:0}$ und $C_{14:0}$ -FS kompensatorisch ansteigen (READ, 1965b).

- b) Bei gleichem Kalorienüberschuß aber nur 40%igem Kornöl-anteil in der Diät, kam es zu einem geringfügigen Abfall der $C_{18:2}$ und $C_{18:3}$ -FS, während die in Eigensynthese produzierten $C_{12+14:0}$ -FS gleichzeitig anstiegen (INSULL, 1959). Auch KRAMER (1965) beobachtete bei geringerem Fettangebot (25%) eine wesentlich geringer ausgeprägte Änderung im FS-Muster.

3.5.2.4 Kaloriengleichgewicht, 40% tierisches Fett (15% Kuhmilchprotein, 45% Kohlenhydrate)

Bei dieser Ernährung entspricht die Zusammensetzung der Milch dem FS-Muster der Nahrung und des Depotfettes. Wird das tierische Fett hauptsächlich in Form von Schmalz aufgenommen, das bekanntlich große Mengen an Palmitinsäure enthält, so steigt auch der $C_{16:0}$ -Gehalt der Milch stark an. Gleichzeitig kann ein Abfall der Linolsäurekonzentration gemessen werden (Schmalz enthält ebenfalls nur geringe Mengen an $C_{18:2}$ -FS:).

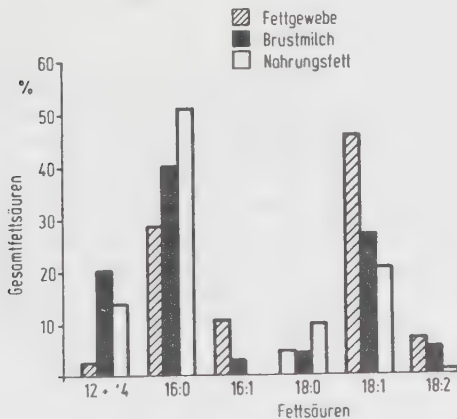


Abb. 15: Vergleich der Fettsäuremuster von Fettgewebe, Muttermilch nach 6-monatiger Stilldauer und dem Hauptnahrungsfett Butter (nach UNDERWOOD, 1940)

3.5.2.5 Kaloriengleichgewicht, 40% pflanzliches Fett (sonst wie bei 3.5.2.4)

Auch in diesem Fall ist das FS-Muster der Milch wieder von der Zusammensetzung des Nahrungsfettes abhängig: Dabei wird meist ein Anstieg der Linolsäure und ein Abfall der Palmi-

tinsäure beobachtet. Allerdings besteht eine Diskrepanz bei den in Eigensynthese gebildeten $C_{12:0}$ und $C_{14:0}$ -FS, die trotz des geringen Anteils im Pflanzenfett in der Milch stets in höheren Konzentrationen erscheinen (INSULL, 1958). Im Vergleich zu den gesättigten FS gleicher Länge war der Anstieg des Linolsäuregehaltes im Serum wesentlich länger zu beobachten. Daraus kann ein unterschiedliches Verhalten dieser FS in Bezug auf Abbau bzw. Weiterverwendung (READ, 1965) abgeleitet werden.

Die Ergebnisse der Versuchsdiäten 1. - 5. zeigen, daß bei hoher KH-Aufnahme die Art des zugeführten Fettes praktisch ohne Bedeutung ist, da unter diesen Bedingungen eine maximale Stimulierung der Eigensynthese in der Brust erfolgt. Dagegen spiegelt sich bei KH-ärmerer Nahrung der Linolsäuregehalt des zugeführten Fettes in der Milch wieder. Darüberhinaus zeigte sich, daß bei Kaloriengleichgewicht die Art des mit der Nahrung zugeführten Fettes in etwa aus dem FS-Muster der Milch abgelesen werden kann.

INSULL (1958) beschreibt, daß die $C_{7,8,9}$ -FS bei sämtlichen Versuchsdiäten parallel variierten, wie die Abb. 16 zeigt. Ein hoher Gehalt an diesen FS wurde unter den Diäten 2. und 5. erreicht, während die niedrigsten Werte bei den Nahrungen gemessen wurden, die entweder viel tierisches (3.) oder viel pflanzliches Fett (4.) enthielten (INSULL, 1959). Mit Ausnahme eines geringen Anstieges unter der fettfreien, hochkalorischen Diät ergab sich ein kontinuierlicher Abfall der $C_{13,15,17}$ -FS (INSULL, 1959).

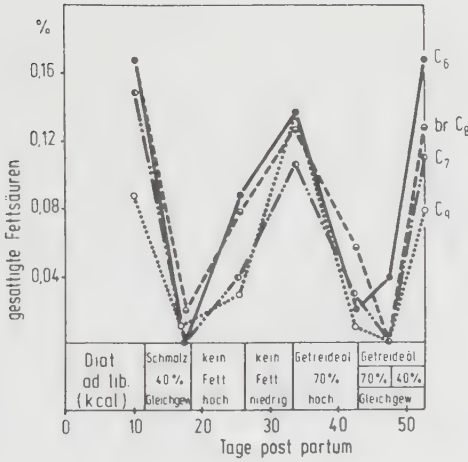
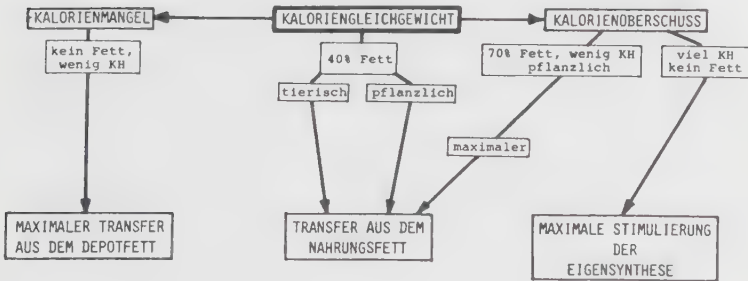


Abb. 16: Änderungen im Gehalt der C_{7,8,9}-Fettsäuregruppe während verschiedener Nahrungsperioden (br = verzweigtkettig) (nach INSULL, 1959)



Schema 1: Der Einfluß des Kaloriengehaltes und der Zusammensetzung der Nahrung auf die Herkunft des Milchfettes

Ölsäureverhältnis in der Säuglingsnahrung von 1:3,5 entscheidend die Ca-Fett-Resorption. Selbst die sogenannte adaptierte Humanmilch birgt noch entscheidende Nachteile für den Säugling: So könnte z.B. eine zu starke Entfettung der Milch die normale Entwicklung der Gehirnfunktion beeinträchtigen. Es ist bekannt, daß der Organismus für die Myelinisierung der Nervenfasern, die erst mit 3 Jahren als abgeschlossen gilt, ganz spezifische Fette benötigt. Auch eine Erhöhung des Linolsäuregehaltes der Kuhmilch wird z.T. mit Skepsis beurteilt. Besteht bei einer C_{18:2}-Aufnahme gleichzeitig ein Mangel an antioxydativen Substanzen, wie z.B. Vitamin E, so kann es durch Bildung von Peroxyden zu einer hämolytischen Anämie kommen (GYÖRGY, 1971). Ferner ist bekannt, daß Flaschennahrung die Ausbildung einer effektiven Appetitkontrolle verhindert (B. HALL, 1975). In der Studie von TAITZ (1971) konnte gezeigt werden, daß 60% der "Flaschenkinder" und nur 15% der "Brustkinder" ein Gewicht aufweisen, das über der 90. Perzentile liegt. Es wird vermutet, daß die während einer Mahlzeit sich ändernde Zusammensetzung der Milch einen Einfluß auf Geschmack, Duft und Dichte ausübt und dadurch die Nahrungsaufnahme des Säuglings reguliert. Außerdem werden durch das Stillen sowohl Hunger als auch Durst des Kindes befriedigt. Hat das Baby die eine Brust entleert, die gegen Ende der Mahlzeit bereits fett- und proteinreich ist, so bekommt es von der anderen Seite erneut wässrige und fettarme Vormilch zu trinken. Durch ihren gleichbleibenden Fettgehalt ist die Flaschennahrung daher nicht in der Lage, den Durst des Kindes ebenso zu stillen wie den Hunger. Auf diese Weise wird die Entwicklung eines Selbstregulationsmechanismus bei der Nahrungsaufnahme verhindert.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Methodik

1.1 Klinisches Vorgehen

Das Kollektiv der Versuchspersonen bestand aus 19 stillenden Müttern, die in der II. Frauenklinik, München entbunden hatten. Das Durchschnittsalter der Frauen betrug 29,4 Jahre. Aus den Anamnesen war bekannt, daß bei einer mittleren Kinderzahl von 2,1 acht Frauen bereits eine oder mehrere Fehlgeburten durchgemacht hatten. 12 Frauen hatten früher über einen längeren Zeitraum hinweg Kontrazeptiva genommen, die z.T. erst kurz vor der Konzeption abgesetzt worden waren. Nur in 2 Fällen war während der Schwangerschaft kein einziger Risikofaktor festgestellt worden. Als Risiken wurden genannt: Gestationsdiabetes, EPH-Gestose, Rh-Inkompatibilität, Fehlgeburt in der Anamnese, Z.n. Sectio oder Forcepsentbindung, Vielgebärende, höheres Alter, unklarer Termin, Blutungen, hypotone Krise bei paroxysmaler Tachykardie. In einigen Fällen wurde die Geburt selbst zusätzlich noch durch folgende Umstände kompliziert: Terminüberschreitung, lange Geburtsdauer, vor/oder frühzeitiger Blasensprung, primäre hypertone Wehenschwäche, Wehen in der 36. SSW und Dammriß. Die Lage des Kindes zwang in 2 Fällen (d.a. Gesichtslage und Beckenendlage) zur Sectio caesara. In Vollnarkose mußten ein Zervixriß genäht und eine Placenta adhaerens gelöst werden. Neben den üblichen Sedativa, Analgetika und Spasmolytika wurden postoperativ zusätzlich Glucose und Elektrolyte zugeführt. Eine "Adipositas" bestand in 5, eine Struma in 2 Fällen. Die Laktation setzte im Durchschnitt 2,4 Tage p.p. ein und wurde im Mittel 26,5 Tage fortgesetzt (2. - 64. L.T.). Als Gründe für das vorzeitige Abstillen wurden genannt: zu geringe Milchmenge, Mastitis der Mutter und Trinkschwäche des Kindes.

Bei einigen Frauen führten unvorhergesehene Reisen, eine falsch angegebene Adresse oder mangelnde Bereitschaft der Mutter zu einem vorzeitigen Ausscheiden aus der Studie. Die Milchproben sollten nach Möglichkeit stets zur gleichen Uhrzeit an bestimmten Tagen der Stillperiode über einen Zeitraum von insgesamt 2 Monaten abgenommen werden. Da dieses Schema nicht von allen Müttern aus persönlichen Gründen eingehalten werden konnte, wurden dicht beeinanderliegende Tage zu einem Laktationszeitraum zusammengefaßt. Dabei war es dann gleichgültig, an welchem Tag dieses Zeitraumes die Probe abgenommen werden konnte. Folgende Einteilung erschien bei Berücksichtigung der verschiedenen Reifestadien der Milch sinnvoll: 1.-2., 3.-4., 5.-6., 7.-9., 12.-14., 17.-20., 29.-34., 35.-41. und 62.-64. Laktationstag (vgl. Abb. 18).

Die folgende Abb. 18 gibt einen Überblick über das Ausmaß und die Dauer der Teilnahme an der Muttermilchstudie.

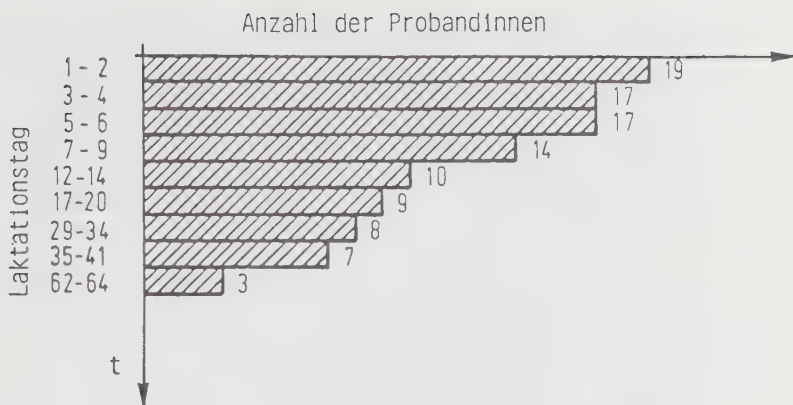


Abb. 18: Die Anzahl der teilnehmenden Versuchspersonen in den einzelnen Laktationszeiträumen

Die Probenentnahme erfolgte jeweils um 16.00 Uhr sowohl vor als auch nach dem Anlegen des Säuglings. Für jede Portion wurden mittels einer Handpumpe zwischen 5 und 10 ml Milch aus einer Brust abgepumpt. Die so gewonnenen Proben wurden nach Portionen getrennt in sterilisierte Gläschen abgefüllt, die mit dem Namen der Mutter, der Uhrzeit, dem Datum, der Brustseite und der Portionsart gekennzeichnet wurden. Nach Möglichkeit sollten sowohl die Probe I (= vor dem Anlegen) als auch die Probe II (= nach dem Anlegen) untersucht werden, um während des Stillens auftretende Veränderungen der Milchezusammensetzung zu erfassen. In einigen Fällen waren die gewonnenen Mengen für eine komplette Analyse zu gering, so daß Aliquots der Proben zusammengeschüttet werden mußten (= Probe I und II), damit sich die Mindestmenge von 10 ml ergab. Anschließend wurden die verschlossenen Gläser bis zur Weiterverarbeitung bei ca. 5°C im Kühlschrank aufbewahrt. Da die Mütter nach einem durchschnittlichen Klinikaufenthalt von 9,2 Tagen nach Hause entlassen wurden, mußte die Milchabnahme dort weitergeführt werden. Da die Experimente im Frühjahr und Sommer durchgeführt wurden und der Wohnort oft in beträchtlicher Entfernung von der Klinik lag, mußte der Transport so schnell wie möglich per Auto und in einem Isoliergefäß erfolgen.

1.2 Labortechnische Methoden

1.2.1 Die pH-Messung (Einzelheiten siehe WINKELMANN, 1960)

Zuerst wurde der pH-Wert als der empfindlichste Parameter mittels einer Glaselektrode gemessen. Diese eignet sich besonders für Messungen in biologischen Lösungen, da sie diese weder verändert noch selbst durch sie beeinflusst wird. Zur Festlegung des Nullpunktes und

der Skalenbreite mußte das pH-Meter zunächst mit zwei Pufferlösungen geeicht werden (pH 4 und pH 7). Dabei mußte darauf geachtet werden, daß die Glaselektrode zwischen allen Messungen mit destilliertem H₂O gespült und sorgfältig abgetrocknet wurde. Nach jeder pH-Bestimmung wurde die Elektrode zusätzlich mit Methanol von eventuell anhaftenden Fettkügelchen befreit. Wegen der bekannten Temperaturabhängigkeit des pH-Wertes war vor jeder Messung ein Regler auf die entsprechende Temperatur der Probe einzustellen. Bei vorgekühlten Proben betrug diese in etwa 5°C, während frisch abgepumpte Milch nach einem Ausgleich mit der Umgebungstemperatur ungefähr 22°C aufwies. Sowohl von Portion I und II als auch von deren Mischung (I + II) wurde der pH-Wert bis auf zwei Stellen hinter dem Komma genau bestimmt.

1.2.2 Die Crematokritmessung

(nach D. Baum, Oxford, mündliche Mitteilung)

Dieses Verfahren, das sich das Prinzip der Hämatokritbestimmung zu Nutzen macht, gibt einen Anhalt über den ungefähren Fettgehalt der Probe. Dazu wurden nicht heparinisierte Hkt-Röhrchen bis zu 3/4 ihres Volumens mit Milch gefüllt und das lufthaltige Ende in der Flamme eines Bunsenbrenners verschlossen. In einer Mikrozentrifuge, die mit 1000 Umdrehungen/Minute arbeitet, wurde die Milch innerhalb von 15 min entsprechend den spezifischen Gewichten ihrer Bestandteile aufgetrennt. Aufgrund der angreifenden Zentrifugalkraft, die ein Vielfaches der Erdbeschleunigung beträgt, sonderten sich die Teilchen größter Dichte in der größten Entfernung von der Achse ab, während sich die Partikel geringerer Dichte in Achsennähe befanden. 3 Phasen waren zu unterscheiden (nach abnehmender Dichte geordnet):

1. Eine dottergelbe Flüssigkeit, die den geringsten Anteil der Flüssigkeitssäule ausmachte, und die hauptsächlich aus Zelltrümmern und -kernen bestand.
2. Eine cremig wirkende Substanz von homogenem und eierschalenfarbenem Aussehen, die zwischen 1,66 und 15,86% der Flüssigkeitssäule einnahm und vorwiegend den Fettanteil der Milch enthielt.
3. Der größte Anteil wurde von einer wässrig bis milchigtrüben Flüssigkeit gebildet, der sogenannten Magermilchphase, die sich aus dem wässrigen Anteil der Milch und den in Wasser löslichen Partikeln zusammensetzte.

Mit einer Schublehre wurde die Gesamtlänge der Flüssigkeitssäule, sowie die Länge der einzelnen Phasen in mm gemessen und ihre prozentualen Anteile in der Probe berechnet.

1.2.3 Gefrieretrocknung

Im nächsten Arbeitsvorgang wurden die Proben in einem sogenannten Lyophilisator gefriergetrocknet. Auf diese Weise wurde die Aufbewahrung und der Transport zu den Laboratorien in Ludwigsburg wesentlich erleichtert. Einige theoretische Grundlagen sollen an dieser Stelle kurz erläutert werden. Das Prinzip der Lyophilisation

besteht darin, aus getrocknetem Material durch Sublimation im Vakuum Wasser zu entziehen. Der große Vorteil liegt u.a. darin, daß bei diesem Vorgang die Koagulation von Kolloiden verhindert und damit eine größtmögliche Schonung des Materials erreicht wird. Zusätzlich kommt es noch zu einer Verminderung der Keimzahl, die nach 2 Wochen Lagerung bei 20°C und 5% Restfeuchtigkeit am stärksten ausgeprägt ist. Der Prozeß der Lyophilisation läßt sich in 3 Phasen unterteilen:

- a) Vorfrieren
- b) Gefriertrocknung
- c) Nachtrocknung.

ad a) Dabei ist aus folgenden Gründen eine möglichst hohe Einfriergeschwindigkeit erstrebenswert. Geringere Strukturveränderung der Substanz durch die Verringerung von Kristallbildung und -wachstum. Auf diese Weise wird eine Entmischung salzhaltigen Gutes verhindert, die zur Folge hätte, daß sich reines Eis in der wässrigen Phase abscheiden würde. Die dadurch entstehende Erhöhung der Salzkonzentration in der übrigen Probe würde zu einer allgemeinen Gefrierpunktniedrigung führen. Die größte Einfriergeschwindigkeit wird mit einem Flüssigkeitsbad von -22°C oder mit Trockeneis von -73°C erreicht.

ad b) Bei der eigentlichen Gefriertrocknung erfolgt die Sublimation bei Partialdrücken unterhalb des Tripelpunktes. Die Temperatursenkung entsteht durch den Verlust an Sublimationswärme beim Nachströmen von H₂O-Molekülen (1 kg verdampft EIS $\approx$ 680 cal). Dabei ist die Sublimationsgeschwindigkeit vom Dampfdruck über dem Eis und dieser wiederum von der Temperatur abhängig. Mit einer Steigerung der Temperatur und damit auch der Geschwindigkeit riskiert man jedoch eine Zerstörung des Trockengutes. Die Trocknung erfolgt wegen des schnelleren Abtransportes des Wasserdampfes am besten im Vakuum bei Drücken zwischen $8 \cdot 10^{-3}$ und $5 \cdot 10^{-2}$ atm. Zusätzlich erreicht man durch niedrige Temperaturen an den Kühlflächen, daß der Partialdruck über dem Kondensatoreis geringer ist als über dem Trockengut. Auf diese Weise wird die Wasserdampfströmung in Richtung der Kühlflächen geleitet.

ad c) Nach Entfernung des kompakten Eises werden in der Nachtrocknung die an den Wandungen des Trockengutes absorbierten H₂O-Häute beseitigt. Die verbleibende Restfeuchtigkeit beträgt ungefähr 1% nach 2-6-wöchiger Lagerung, während unmittelbar nach der Lyophilisation noch 5% gemessen werden (weitere Einzelheiten bei SAGER, 1958).

Die Wiederauflösung des entstandenen Pulvers sollte am besten mit ungefähr 15°C kaltem H₂O erfolgen. Die Menge der Flüssigkeit richtet sich nach der Größe der Trockenmasse, die in der vorliegenden Studie einen Durchschnittswert von 12,9g% erreichte. Zur Bestimmung dieses Wertes war ein genaues Wiegen der Proben vor und nach der Lyophilisation erforderlich. Dazu wurde eine hochempfindliche Analysenwaage benutzt, die das Gewicht bis auf 4 Stellen hinter dem Komma anzeigte. Zwischen 7 und 10 ml der frisch gewonnenen Milch wurden in saubere und

numerierte Glasgefäße pipettiert und für den Wiegevorgang mit einem geschliffenen Deckel verschlossen, um ein Verdunsten der Flüssigkeit zu verhindern. Diese Gefäße besaßen einen großen Durchmesser, damit sich das Milchvolumen über eine weite Fläche ausbreiten konnte. Dadurch ließ sich eine sehr geringe Schichtdicke der Probe von ca. 4-5 mm erreichen, die den Vorgang der Gefriertrocknung wesentlich beschleunigen kann.

1.2.3.1 Vorfrieren der Proben

Bereits während des Wiegens wurde das aus Methanol bestehende Flüssigkeitsbad im Lyophilisator bis auf -80°C vorgekühlt. War die erforderliche Temperatur erreicht, konnten die verschlossenen Gefäße mit Hilfe eines selbst-angefertigten Drahtkorbes in das Kühlbad eingetaucht werden. Schon nach 3 Minuten hatte die Milch eine feste Konsistenz angenommen.

1.2.3.2 Gefriertrocknung

Die vorgefrorenen Proben wurde ohne Deckel in den eigentlichen Lyophilisator gestellt. Das System wurde fest verschlossen, um ein Aufschäumen der Milch zu vermeiden. Anschließend wurde das erforderliche Vakuum aufgebaut und der Temperaturregler auf $+20^{\circ}\text{C}$ eingestellt. Bei dieser Temperatur konnte eine akzeptable Sublimationsgeschwindigkeit erzielt werden, ohne dabei das Trockengut zu verändern. Nach ca. 10 Stunden war der Vorgang der Gefriertrocknung beendet. Wegen der unterschiedlichen Zusammensetzung der Milch lag der entzogene H_2O -Anteil zwischen 87 und 94%! Unmittelbar nach der Lyophilisation wurden die Glasgefäße verschlossen, um die Bildung von Kondenswasser bei der wärmeren Raumluft zu vermeiden. Nach Ausgleich von Innen- und Außentemperatur des Gefäßes durfte jedoch der Deckel abgenommen werden, da das Pulver selbst nicht hygroskopisch ist.

1.2.4 Bestimmung der Trockensubstanz

Nach Wiegen des Lyophilisates konnte durch Bildung der Differenz zum Gewicht der frischen Milchprobe der entzogene Wasseranteil in g bzw. in % berechnet werden. Subtrahiert man den Wassergehalt (in %) von 100%, so ergibt sich folglich die Trockensubstanz (in % der frischen Probe).

1.2.5 Versand der Proben

Anschließend wurde das Pulver in sterile, verschließbare Plastikröhrchen umgefüllt. Diese wurden genau gekennzeichnet (Abnahmedatum, Name der Mutter, Portion, Brustseite, Trockenmasse in %) und an ein Labor in Ludwigsburg gesandt. Dort wurden die Proben auf ihren Gehalt an Fett, Fettsäuren und Spurenelementen hin untersucht.

1.2.6 Analysenmethoden

1.2.6.1 Fettgehalt

Lyophilisierte Muttermilch (400 mg) wurde 6 mal mit 10 ml Athanol-Petroläther (bis 40°C)-Gemisch (Verhältnis 1 : 1) extrahiert. Nach Abziehen des Lösungsmittelge-

misches im Rotationsverdampfer wurde das Fett getrocknet und ausgewogen.

Mittels des angegebenen Trockensubstanzgehaltes erfolgte die Angabe des Fettgehaltes in % auf Frischmilch bezogen.

1.2.6.2 Fettsäurespektren

- Derivatisierung -

Zur Darstellung der Fettsäuremethylester wurde das getrocknete Fett in 2 ml Heptan gelöst, mit 0,4 ml 1%iger Natriummethylatlösung versetzt und 20 Minuten lang mit Rückflußkühler im Wasserbad erhitzt.

Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur wurden 0,4g konditionierter, saurer Kationentauscher zugesetzt und 2 min geschüttelt.

Von der erhaltenen Fettsäuremethylesterlösung wurde ein aliquoter Teil für die Gaschromatographische Bestimmung verwendet.

- Gaschromatographische Bestimmung -

Das Fettsäurespektrum wurde mittels GLC unter folgenden Bedingungen ermittelt:

Gerät:	HEWLETT-PACKARD Modell 5750
Trennsäule:	Glas, 6 ft, 1/4
Säulenfüllung:	10% Diäthylenglycolsuccinat auf Chromosorb W-AW-DMCS 80 - 100 mesh
Detektor:	FID
Gase:	Trärgas: Helium 40 ml/min Detektor: Wasserstoff 32 ml/min Luft 500 ml/min
Temperatur:	Säulenofen: 70° + 60° C/min bis 190° C Injektorblock: 240° C Detektor: 330° C
Einspritzmenge:	0,5 bis 1,0 µl
Auswertung:	Integrator: HEWLETT-PACKARD Modell 3380 A Angabe in Flächenprozent.

1.2.6.3 Spurenelemente

- Aufschluß -

200 mg lyophilisierte Muttermilch wurden in Quarztiegel mit einem Säuregemisch (2 ml konz. Salpetersäure + 1 ml konz. Salzsäure, Suprapur) auf einer Kochplatte unter Erhitzung aufgeschlossen. Nach Filtration und Verdünnung der Lösungen konnten die Elemente mittels flammenloser Atom-Absorption bestimmt werden.

- Bestimmung -

Gerät:	AAS-Perkin-Elmer 300 HGA-72, Untergrundkompensator
Schutzgas:	Argon

Elemente	Wellenlänge	Trocknung	Therm. Zersetzung	Atomisierung
	nm	°C	°C	°C
Cd	228,8	100	350	1800
Cr	357,9	100	1350	2660
Cu	324,7	100	900	2600
Mn	279,5	100	1100	2600
Pb	283,3	100	550	2040
Zn	213,9	100	400	2500

Die Auswertung erfolgte über die Additionsmethode.

Die Mengenangaben sind sowohl auf Trockensubstanz in ppm (mg/kg) als auch auf Frischmilch in ppb ($\mu\text{g/kg}$) bezogen.

1.2.7 Erfassung der täglichen Nahrungsaufnahme

Um eine mögliche Abhängigkeit der Milchezusammensetzung zu erfassen, mußte die gesamte pro Tag aufgenommene Nahrungsmenge und deren Zusammensetzung registriert werden. Zu diesem Zweck wurden Erhebungsbögen entworfen, in denen die Frauen die zu den drei Hauptmahlzeiten und sämtliche zwischendurch verzehrten Nahrungsmittel mit genauer Mengenangabe eintragen sollten. Während des Klinikaufenthaltes geschah dies täglich. Nach der Entlassung der Mütter sollte die gesamte Nahrungsaufnahme möglichst an 3 Tagen vor dem vereinbarten Termin der Milchabnahme festgehalten werden.

1.2.8 Gedeihen des Kindes

An den gleichen Tagen sollte das Kind morgens vor der ersten Mahlzeit nackt gewogen werden, um das Ausmaß der Gewichtszunahme verfolgen zu können.

1.2.9 Erfassung der Milchmenge

Zur Bestimmung des sezernierten Milchvolumens wurden die getrunkenen (= Differenz des Gewichtes des Kindes vor und nach dem Stillen) und abgepumpten Milchmengen addiert.

1.3 Auswertung

Bei Kenntnis des ersten Laktationstages konnten die Tage der Probenentnahme in die entsprechenden Laktationstage umgerechnet werden. Auf diese Weise war es möglich, ein einheitliches Abnahmeschema zu bilden, das somit unabhängig von dem Zeitraum war, der zwischen der Geburt und dem "Einschießen" der Milch lag. Der erste Laktationstag wurde zwischen dem 1. und 4. Tag nach der Entbindung erreicht und lag im Durchschnitt 2,4 T.p.p. In einigen Arbeiten wird bei der Kolostralmilch noch die Angabe n. Tag p.p. verwendet. In dieser Studie wurde jedoch darauf verzichtet, um nicht mit 2 verschiedenen Zeitangaben arbeiten zu müssen.

Bestimmte Fettsäuren wurden in Gruppen zusammengefaßt, um eventuelle gemeinsame Veränderungen zu erkennen: Gesättigte FS, ungesättigte FS, mittelkettige FS

($C_{10} + C_{12}$), langkettige FS ($C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}$) Monoensäuren ($C_{14:1}, C_{16:1}, C_{18:1}$), Polyensäuren ($C_{18:2}, C_{18:3}$ u.a.) $C_{12:0} + C_{14:0}$ und $C_{16:0} + C_{18:0} + C_{18:1}$ -FS. Sowohl diese FS-Gruppen als auch die übrigen Parameter wurden in ihrem Verlauf während der Stillperiode auf Millimeterpapier dargestellt. Die Werte der Portionen I, II und der gemischten bzw. errechneten Portion I + II wurden jeweils getrennt aufgetragen. Weitere Zeichnungen wurden angefertigt, um den prozentualen Anteil der einzelnen FS an den Gesamtfettsäuren grafisch zu veranschaulichen. Die Monoensäuren und Polyensäuren wurden als Untergruppen der gesamten ungesättigten FS und die mittel- und langkettigen FS als Untergruppen der gesamten gesättigten FS dargestellt. Dazu wurden die ungesättigten und gesättigten FS als 100% gesetzt und die prozentualen Anteile der zuvor genannten Untergruppen ermittelt.

Von sämtlichen Parametern wurden die Mittelwerte, die 1-, 2- und 3-fachen Standardabweichungen für jeden der insgesamt 9 verschiedenen Laktationszeiträume getrennt bestimmt. Existierten aus einem Zeitabschnitt von derselben Frau 2 verschiedene Proben, so wurde aus beiden Werten ein Durchschnittswert gebildet. Dadurch wurde verhindert, daß eine Frau bei der Mittelwertberechnung überrepräsentiert war. Für die Mittelwertbestimmung der Kolostral- und frühen transitorischen Milch wurden auch die Proben derjenigen Frauen miteinbezogen, die zwischen dem 2. und 9. L.T. abgestillt hatten. Es erschien sinnvoll, die Versuchspersonen, die am längsten an der Studie teilgenommen hatten, zu einer Gruppe zusammenzufassen. Diese 10 Frauen hatten im Durchschnitt bis zum 45. L.T. Milchproben für eine Analyse zur Verfügung gestellt. Jeder ihrer Werte wurde in seiner Abweichung vom Mittelwert des entsprechenden Laktationszeitraumes grafisch dargestellt. Durch den Vergleich der Werte dieser 10 Frauen konnte die interindividuelle Schwankung demonstriert werden. Die Longitudinalverläufe dienten dagegen zur Verdeutlichung der intraindividuellen Veränderungen im Verlauf der Stillperiode.

Alle errechneten Mittelwerte wurden den im Schrifttum genannten Werten gegenübergestellt. Für die einzelnen Parameter wurden die Streuungsbereiche der Werte in jedem Laktationszeitraum angegeben.

Nur in 4 Fällen hatten die Mütter so genaue Angaben über Art und Menge der Nahrungsaufnahme gemacht, daß eine Auswertung sinnvoll erschien. An Hand von Kochbüchern wurde die Zusammensetzung der angegebenen Mahlzeiten ermittelt und die Menge der einzelnen Zutaten auf eine Person umgerechnet. Unter Zuhilfenahme mehrerer Nährwerttabellen konnte für die meisten Speisen der Gehalt an Fett, Kohlehydraten, Polyensäuren, gesättigten FS und Gesamtkalorien bestimmt werden. Obwohl die Mengenangabe auf den Erhebungsbögen in g erfolgen sollte, wurde in vielen Fällen die Portion als Einheit verwendet (1 Stück Kuchen, 1 Apfel, 1 Eßlöffel Mehl usw.). Daher mußte erst das Durchschnittsgewicht einer Portion an Hand von Tabellen ermittelt

werden. Je nach Größe und Anzahl der Portionen konnte dann die insgesamt aufgenommene Nahrungsmenge (in g) errechnet und deren Nährwert bestimmt werden. Anschließend wurde der Gehalt der einzelnen Speisen an Fett, Kohlehydraten und kcal zu Tageswerten addiert. Aus den Werten an den 2 bzw. 3 Tagen vor der eigentlichen Milchabnahme wurde ein Mittelwert gebildet.

2. Ergebnisse

2.1 Longitudinalverläufe der einzelnen Fettsäuren

Die Veränderungen im FS-Muster der Milch sind zusammenfassend in Abb. 19 a - c dargestellt. Nachfolgend werden die Verläufe der einzelnen Fettsäuren gesondert beschrieben.

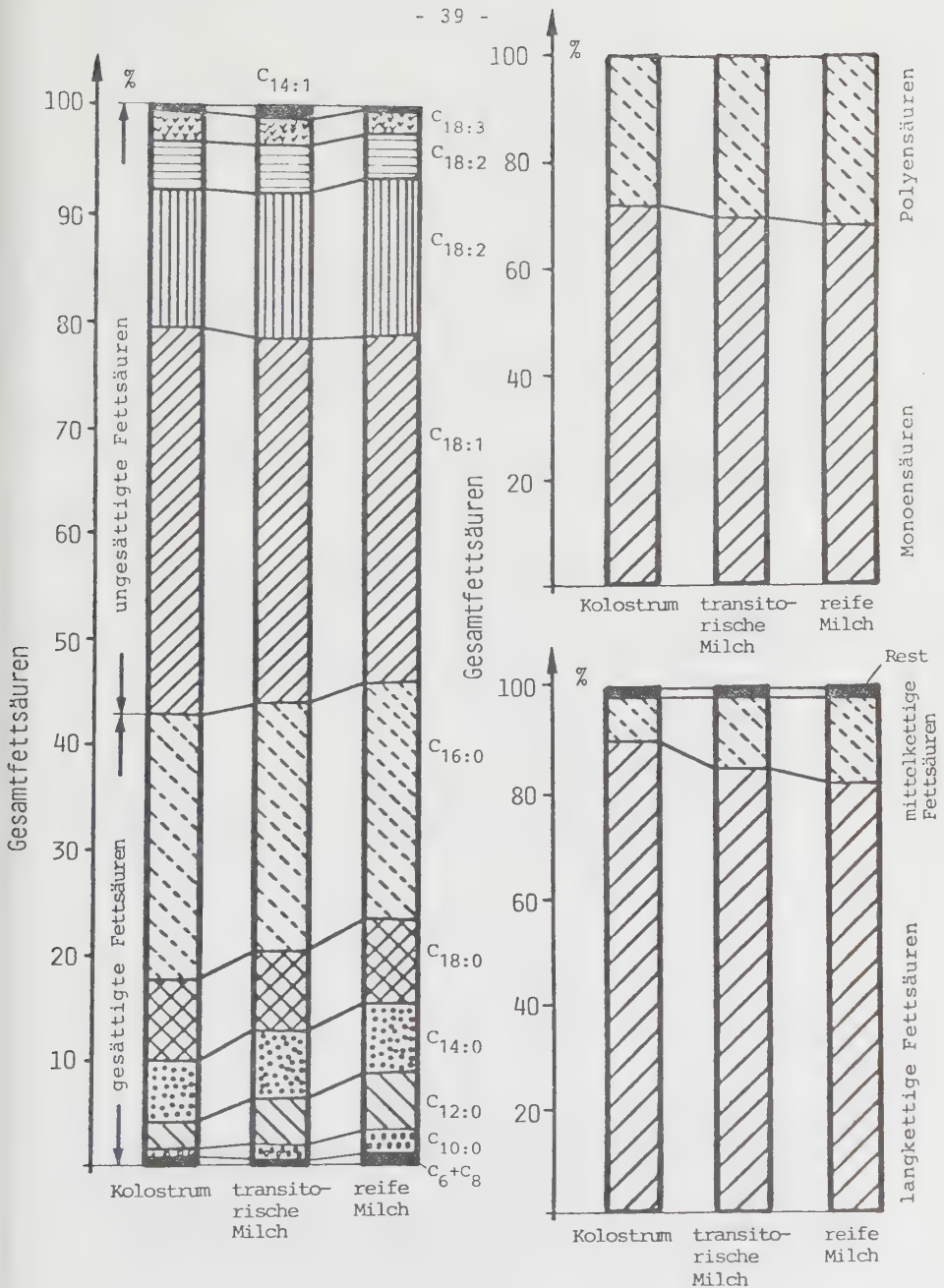


Abb. 19 a-c: Überblick über den Longitudinalverlauf der wichtigsten Fettsäuren in der Milch während den verschiedenen Laktationsphasen

2.1.1 Gesättigte Fettsäuren

Ein Überblick über den Verlauf der wichtigsten gesättigten Fettsäuren ist in Abb. 20 a - f dargestellt.

2.1.1.1 Kurzkettige Fettsäuren

2.1.1.1.1 C₆ (Capronsäure)

Diese FS kam in allen analysierten Proben nur in Spuren, bzw. in weniger als 0,1% der Gesamtfettsäuren vor.

2.1.1.1.2 C₈ (Caprylsäure)

Auffällig war das völlige Fehlen dieser FS zwischen dem 1. und 2. L.T. Erst im Stadium der transitorischen Milch war die Caprylsäure bei allen 10 Frauen nachweisbar. Die Werte zeigten in 9 von 10 Fällen einen ansteigenden Verlauf, der sich im Verhalten der Mittelwerte bestätigt (Abb. 20a).

./ . der Gesamtfettsäuren

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0,1	0,10 $\pm$ 0
transit. Milch	0,1-0,2	0,12 $\pm$ 0,04
reife Milch	0,1-0,2	0,17 $\pm$ 0,04

2.1.1.2 Mittelkettige Fettsäuren

2.1.1.2.1 C₁₀ (Caprinsäure)

Mit zunehmender Milchreife stieg bei allen 10 Frauen der prozentuale Anteil dieser FS an den Gesamtfettsäuren. Auch die Mittelwerte zeigen eine eindeutig ansteigende Tendenz (Abb. 20b).

./ . der Gesamtfettsäuren

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0,1-1,8	0,70 $\pm$ 0,33
transit. Milch	0,6-2,75	1,58 $\pm$ 0,58
reife Milch	1,4 - 2,8	2,13 $\pm$ 0,33

2.1.1.2.2 C₁₂ (Laurinsäure)

Auch diese FS zeigte in allen 10 Fällen eine ansteigende Tendenz, die sich auch am Verlauf der Mittelwerte demonstrieren ließ (Abb. 20c). Bei einer Frau wies die Milch aus der transitorischen Laktationsphase den höchsten Mittelwert auf. In der reifen Milch wurden dann wieder wesentlich niedrigere Werte gemessen (M.H.).

./.. der Gesamtfettsäuren

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	1,1-6,95	2,63 $\pm$ 1,02
transit. Milch	1,7-8,75	4,28 $\pm$ 1,86
reife Milch	3,3-9,00	5,13 $\pm$ 0,93

2.1.1.3 Langkettige Fettsäuren

2.1.1.3.1 C_{14:0} (Myristinsäure)

Trotz einiger Schwankungen im Verlauf der Stillperiode enthielt die reife Milch in 7 von 10 Fällen mehr Myristinsäure als das Kolostrum.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	5	S.H., W.B., W.D., J.H., A.R.
"	Abfall 1	B.St.
1. Anstieg	2. Abfall 2	E.R., M.H.
1. Abfall	2. Anstieg 2	W.Sch., A.A.

Die ansteigende Tendenz spiegelt sich auch in dem Verlauf der Mittelwerte wieder (Abb. 20d).

./.. der Gesamtfettsäuren

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	3,45-9,15	5,98 $\pm$ 1,38
transit. Milch	3,80-10,8	6,41 $\pm$ 1,95
reife Milch	4,80-10,9	6,65 $\pm$ 1,26

2.1.1.3.2 C_{16:0} (Palmitinsäure)

Bei 8 der 10 Versuchspersonen lag der Gehalt an Palmitinsäure in der reifen Milch unter dem Ausgangswert.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	2	S.H., J.H.
"	Abfall 6	W.Sch., E.E., M.H., B.St., A.R., W.B.
1. Anstieg	2. Abfall -	-
1. Abfall	2. Anstieg 2	W.D., A.A.

Der überwiegend absinkende Verlauf der Werte entspricht den Ergebnissen aus der Mittelwertbestimmung der 3 Laktationsstadien. Noch genauer wird dieser Trend in Abb. 20e sichtbar.

	./. der Gesamtfettsäuren	
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	21,70-28,1	25,23 $\pm$ 1,71
transit. Milch	17,55-28,0	23,39 $\pm$ 1,99
reife Milch	17,65-26,7	22,36 $\pm$ 1,70

2.1.1.3.3 C_{18:0}(Stearinsäure)

In 7 von 10 Fällen konnte nach Reifung der Milch eine Konzentration an Stearinsäure gemessen werden, die über den Werten zu Beginn der Laktation lag. Allerdings war dieser Anstieg auf Grund der beobachteten Schwankungen in manchen Proben nur gering ausgeprägt.

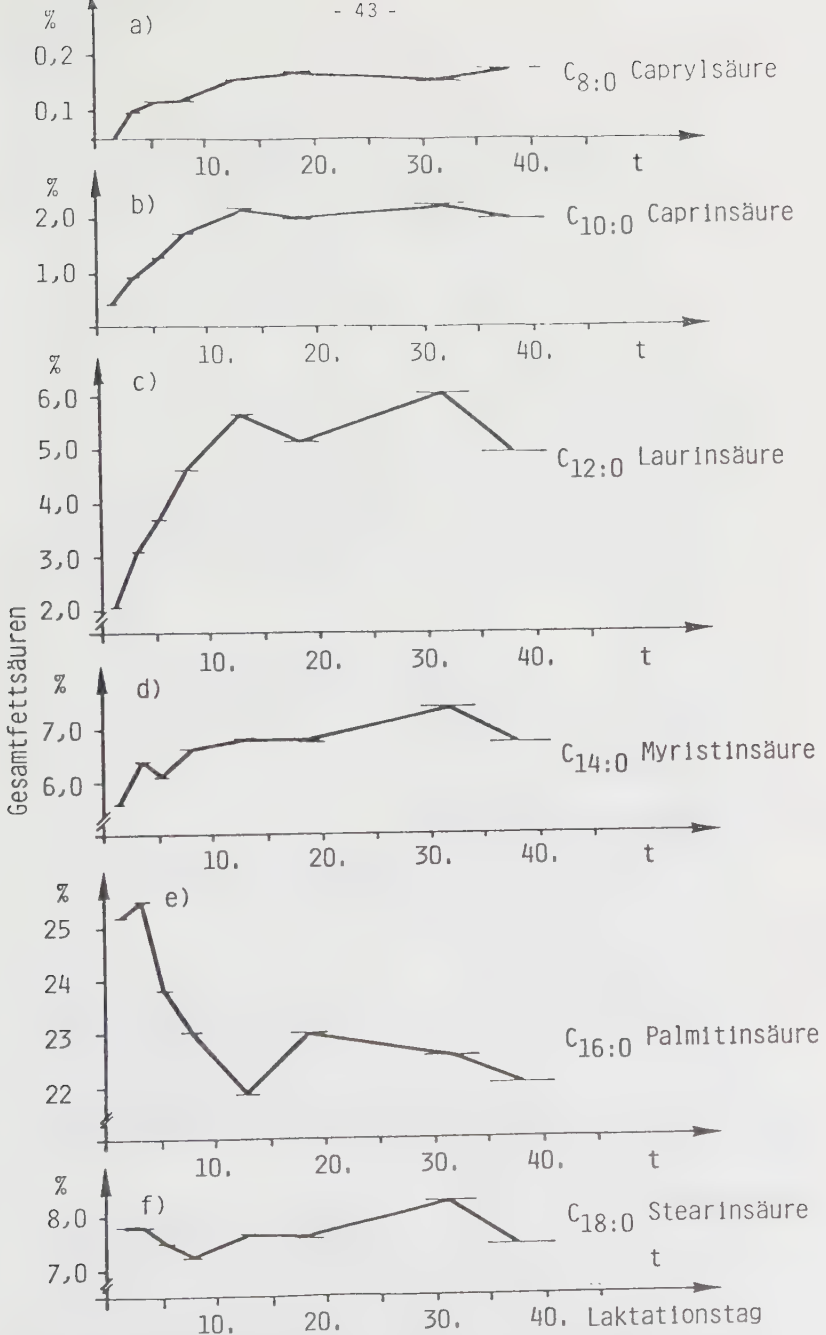
	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	3	W.B., W.D., J.H.
" Abfall	1	A.R.
1. Anstieg 2. Abfall	1	M.H.
1. Abfall 2. Anstieg	5	S.H., W.Sch., M.H., A.A., B.St.

Bei den 5 Frauen aus der letzten Gruppe war in 4 Fällen der Anstieg weitaus stärker ausgeprägt als der initiale Abfall. Bezieht man die Mittelwerte mit ein, so erkennt man jedoch, daß sich die beschriebenen Schwankungen im Verlauf derart aufheben, daß daraus ein relativ konstanter mittlerer Gehalt an Stearinsäure während der Laktation resultiert (Abb. 20f).

	./. der Gesamtfettsäuren	
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	5,8-9,9	7,67 $\pm$ 0,97
transit. Milch	6,0-9,7	7,55 $\pm$ 0,88
reife Milch	5,9-10,7	8,04 $\pm$ 1,31

2.1.1.3.4 C₂₀(Arachinsäure)

Auf Grund des nur sporadischen Erscheinens dieser FS in den Frauenmilchproben ließ sich keine exakte Aussage über den Konzentrationsverlauf während der Laktation machen. Die wenigen Werte reichten nur für die Mittelwertbestimmung des Gehaltes an Arachinsäure in der Kolostralmilch (n = 7). Da diese FS mit zunehmender Reifung immer seltener vorkam, wäre es auch denkbar, daß die Konzentration so stark absank, daß sie mit der angewandten Methode nicht mehr meßbar war. Für ein solches



Verhalten spräche auch der, allerdings aus einer sehr geringen Probenzahl ($n = 5$) berechnete, niedrigere Mittelwert der transitorischen Laktationsphase.

./ der Gesamtfettsäuren		
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0-1,4	0,41 $\pm$ 0,55 ($n = 7$)
transit. Milch	0-0,9	0,26 $\pm$ 0,36 ($n = 5$)
reife Milch	0-0,9	-

2.1.1.4.5 C₂₂(Behensäure)

Auch diese FS kommt in den untersuchten Proben nur selten und dann in sehr geringen Konzentrationen vor. Mit fortschreitender Reifung der Milch nimmt die Häufigkeit des Auftretens ebenfalls ab, so daß nur die Mittelwerte für die Kolostral- und transitorische Milch berechnet werden konnten.

./ der Gesamtfettsäuren		
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0-0,45	0,19 $\pm$ 0,12 ($n = 8$)
transit. Milch	0-0,50	0,23 $\pm$ 0,14 ($n = 8$)
reife Milch	0-0,10	-

2.1.2 Ungesättigte Fettsäuren

Einen Überblick über den Verlauf der wichtigsten ungesättigten Fettsäuren verschafft die Abb. 21 a-e.

2.1.2.1 Monoensäuren

2.1.2.1.1 C_{14:1} Myristoleinsäure

Bei 7 von 10 Frauen wies die reife Milch einen höheren Gehalt an Myristoleinsäure auf als die Kolostralmilch.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	4	S.H., W.B., M.H., A.R.
" Abfall	1	E.R.
1. Anstieg 2. Abfall	-	-
1. Abfall 2. Anstieg	4	W.Sch., W.D., A.A., B.St.
keine Änderungen	1	J.H.

Von den 4 Frauen, deren Milch in der transitorischen Laktationsphase einen initialen Abfall der Werte zeigte, war dieser in 3 Fällen geringer ausgeprägt als der folgende Anstieg. Die Vermutung, daß es sich insgesamt

um ein Ansteigen der Werte handelt, wird durch den Verlauf der Mittelwerte bestätigt (Abb. 21a).

	./. der Gesamtfettsäuren	
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0,1 -0,85	0,41 $\pm$ 0,31
transit. Milch	0,1 -0,70	0,48 $\pm$ 0,28
reife Milch	0,30-0,90	0,58 $\pm$ 0,11

2.1.2.1.2 C_{16:1} (Palmitoleinsäure)

In 8 der 10 Fälle lagen die in der reifen Milch gemessenen Werte unter den Ausgangskonzentrationen.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	1	M.H.
"	Abfall 5	W.D., E.R., B.St., J.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall 3	S.H., W.Sch., W.B.
1. Abfall	2. Anstieg 1	A.A.

Bei den 3 Frauen, die ein leichtes Ansteigen der Konzentration in der transitorischen Laktationsphase aufwiesen, überwog der nachfolgende Abfall im gesamten Verlauf. An Hand der vorliegenden Ergebnisse könnte man auf ein leichtes Absinken der Werte schließen. Dies wird andeutungsweise im Verhalten der Mittelwerte während den 3 Laktationsstadien sichtbar (Abb. 21b).

	./. der Gesamtfettsäuren	
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0,7 -6,1	4,33 $\pm$ 1,15
transit. Milch	0,8 -6,0	4,35 $\pm$ 0,92
reife Milch	3,10-6,2	4,27 $\pm$ 0,81

2.1.2.1.3 C_{18:1} (Ölsäure)

Bei 8 der 10 Versuchspersonen war es im Verlauf der Milchreifung zu einem eindeutigen Abfall der Werte gekommen.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	-	-
"	Abfall 7	S.H., W.Sch., W.B., W.D., E.R., J.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall -	-
1. Abfall	2. Anstieg 2	M.H., B.St.
keine Veränderungen	1	A.A.

Im Fall von Frau M.H. war der Anstieg nach dem anfänglichen Absinken der Konzentrationen nur in sehr geringem Ausmaß vorhanden. Die insgesamt abfallende Tendenz des Ölsäuregehaltes spiegelt sich in dem Verlauf der Mittelwerte überzeugend wieder (Abb. 21c).

	./.. der Gesamtfettsäuren	
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	28,9-45,0	36,43 $\pm$ 3,65
transit. Milch	26,2-42,95	34,47 $\pm$ 4,04
reife Milch	26,3-38,9	32,96 $\pm$ 3,16

2.1.2.2 Polyensäuren

2.1.2.2.1 C_{18:2}(Linolsäure)

In 8 von 10 Fällen waren die Durchschnittswerte der Linolsäure nach erfolgter Reifung höher als diejenigen zu Beginn der Laktation.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	2	W.Sch., E.R.
" Abfall	1	A.R.
1. Anstieg 2. Abfall	5	W.B., W.D., A.A., B.St., J.H.
1. Abfall 2. Anstieg	2	S.H., M.H.

4 der 5 Probandinnen, bei denen initial ein Anstieg der Werte bis zum transitorischen Laktationsstadium erfolgte, boten in der reifen Milch nur einen gering niedrigeren Gehalt an Linolsäure. In der Milch der beiden Frauen S.H. und M.H. war der gegen Ende der Stillperiode auftretende Anstieg deutlich stärker ausgeprägt als der anfängliche Abfall. Aus den Ergebnissen geht hervor, daß trotz der beobachteten Schwankungen eine überwiegend ansteigende Tendenz besteht, die auch durch den Verlauf der Mittelwerte bestätigt wird (Abb. 21d).

	./.. der Gesamtfettsäuren	
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	9,25-19,50	13,12 $\pm$ 2,38
transit. Milch	9,05-25,40	13,87 $\pm$ 2,84
reife Milch	9,45-25,25	14,80 $\pm$ 3,00

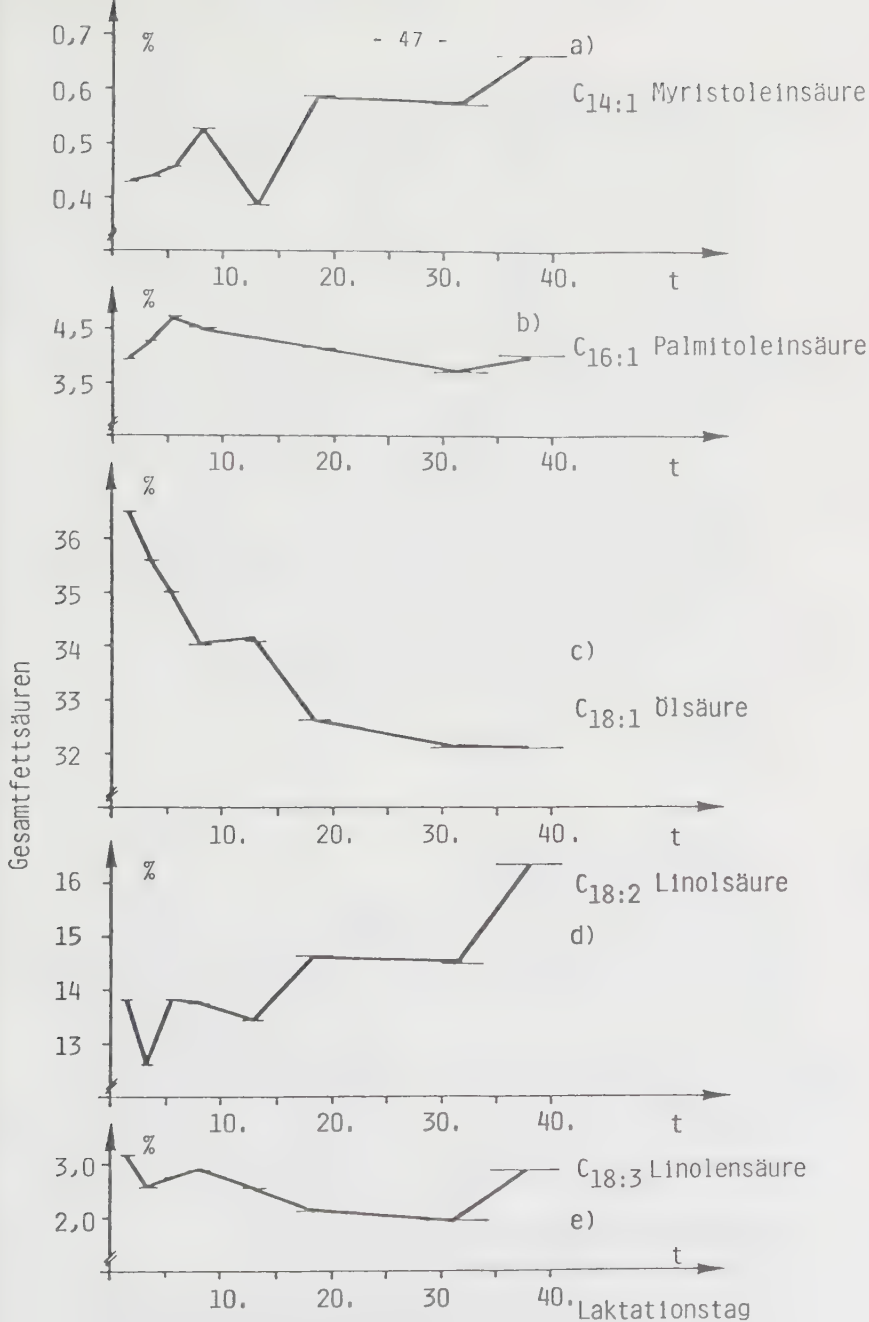


Abb. 21 a-e: Der Verlauf der Mittelwerte der wichtigsten ungesättigten Fettsäuren während der Laktation

2.1.2.2.2 C_{18:3} (Linolensäure)

Bei 6 der 10 Frauen lagen die in der reifen Milch gemessenen Werte unter den Ausgangswerten im Kolostrum.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	1	E.R.
"	Abfall 4	W.B., A.A., J.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall 3	S.H., W.D., B.St.
1. Abfall	2. Anstieg 2	W.Sch., M.H.

Bei 2 der 3 Frauen, deren Milch nur initial einen Anstieg der Werte aufwies, war der anschließend auftretende Abfall der Linolenkonzentration für den gesamten Verlauf entscheidend. In den beiden Fällen, wo das Absinken der Werte schon zu Beginn der Laktation einsetzte, kam es anschließend zu einem noch viel stärker ausgeprägten Anstieg. Sowohl die Einzelverläufe als auch die Mittelwerte (Abb. 21e) der einzelnen Laktationsstadien sprechen eher für eine leicht abfallende Tendenz.

./. der Gesamtfettsäuren		
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	1,55-6,40	2,77 $\pm$ 1,48
transit. Milch	1,35-6,15	2,72 $\pm$ 1,43
reife Milch	0,90-8,60	2,32 $\pm$ 0,74

2.1.3

Restliche Fettsäuren

Auf Grund des Verlaufes der Mittelwerte scheinen diese meist verzweigtkettigen Fettsäuren keine wesentliche Änderungen während der Laktation durchzumachen, die mit einem eindeutigen Abfall oder Anstieg zu vereinbaren wären.

./. der Gesamtfettsäuren		
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	0,1-1,7	0,54 $\pm$ 0,41
transit. Milch	0,1-1,8	0,57 $\pm$ 0,29
reife Milch	0,1-2,05	0,51 $\pm$ 0,28

2.2

Longitudinalverläufe von Fettsäuregruppen

2.2.1

Gesättigte Fettsäuren

Bei 7 der 10 Frauen lag der in der Milch der reifen Laktationsphase gemessene Wert deutlich über dem des Kolostrums.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	5	S.H., W.B., W.D., J.H. A.R.
" Abfall	1	E.R.
1. Anstieg 2. Abfall	1	M.H.
1. Abfall 2. Anstieg	3	W.Sch., A.A., B.St.

Von den zuletzt genannten 3 Frauen war in 2 Fällen der Abfall der gesättigten Fettsäuren dominierend. Bei der Versuchsperson M.H. kam es nach einem starken initialen Anstieg nur zu einem geringen Abfall der Werte gegen Ende der Laktation.

./. der Gesamtfettsäuren

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	33,80-50,30	42,96 $\pm$ 3,82
transit. Milch	38,00-54,20	43,94 $\pm$ 4,63
reife Milch	36,85-54,65	45,07 $\pm$ 3,15

Auch im Verlauf der Mittelwerte bestätigt sich die vorwiegend ansteigende Tendenz der gesättigten Fettsäuren (Abb. 22).

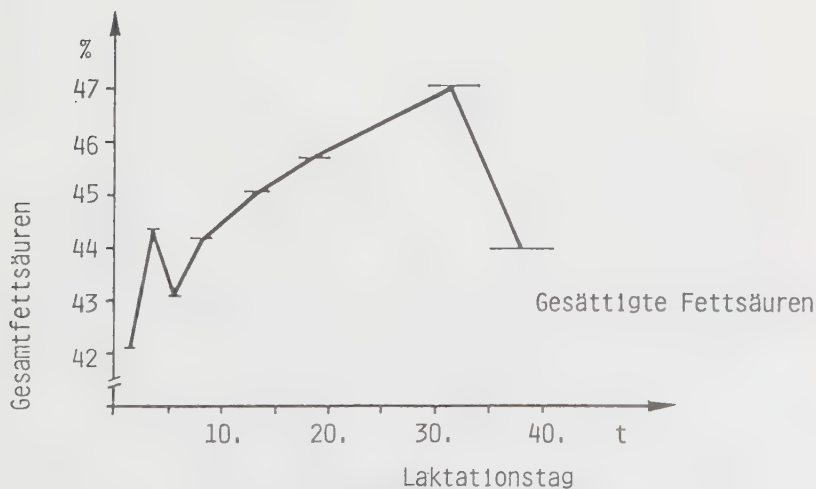


Abb. 22: Das Verhalten der Mittelwerte der gesättigten Fettsäuren im Verlauf der Laktation

2.2.2

Ungesättigte Fette

Erwartungsgemäß wurde bei dieser Fettsäuregruppe ein zu den gesättigten Fettsäuren spiegelbildlicher Verlauf beobachtet.

n Fälle			Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	1		E.R.
"	Abfall	5	S.H., W.B., W.D., J.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall	3	W.Sch., A.A., B.St.
1. Abfall	2. Anstieg	1	M.H.

./.. der Gesamtfettsäuren

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	49,70-66,60	57,04 $\pm$ 3,82
transit. Milch	45,80-62,00	56,06 $\pm$ 4,63
reife Milch	45,35-63,15	54,93 $\pm$ 3,15

Auch der Verlauf der Mittelwerte läßt den Konzentrationsabfall der Milch an ungesättigten Fettsäuren während der Laktation erkennen (Abb. 23).

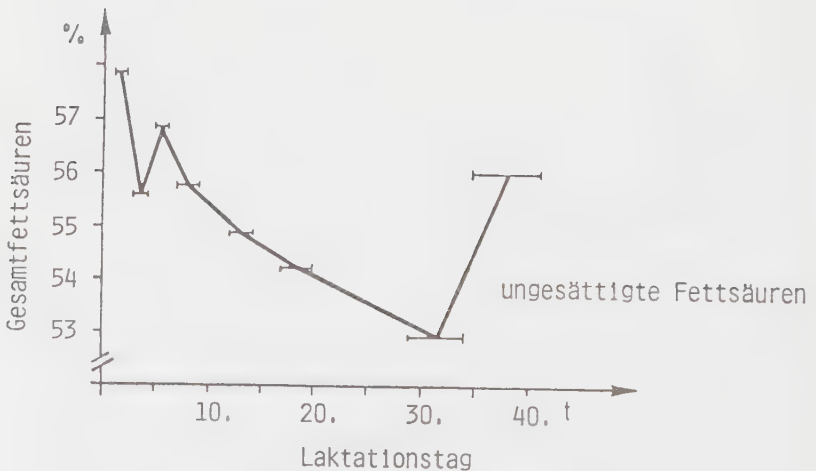


Abb. 23: Das Verhalten der Mittelwerte der ungesättigten Fettsäuren im Verlauf der Laktation

2.2.3

Bei 7 der 10 Frauen war der Gehalt an Monoensäuren in der reifen Milch geringer als in der Kolostralmilch.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	-	-
"	Abfall 6	S.H., W.B., W.D., E.R., J.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall 2	W.Sch., A.A.
1. Abfall	2. Anstieg 2	M.H., B.St.

Bei den beiden Versuchspersonen, in deren Milchproben ein initialer Anstieg beobachtet wurde, war in einem Fall der folgende Abfall deutlich stärker ausgeprägt, während die andere Versuchsperson ein entgegengesetztes Verhalten zeigte. Bei der Gruppe mit dem anfänglichen Absinken der Werte überwog in beiden zitierten Fällen der sich anschließende Anstieg der Monoensäuren. Die insgesamt eher absinkende Tendenz der Monoensäuren mit zunehmender Reifung der Milch veranschaulicht auch der Verlauf der Mittelwerte (Abb. 24 und 25).

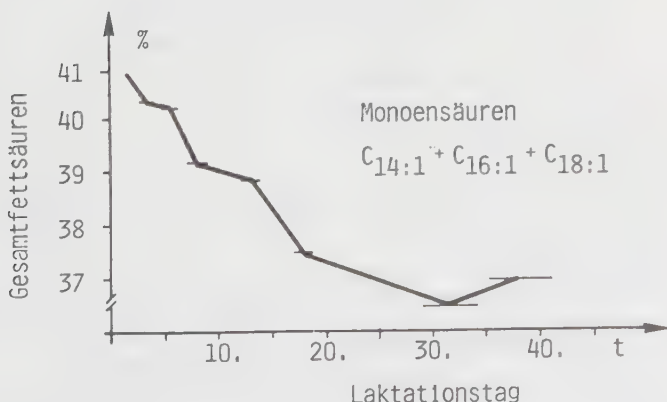


Abb. 24: Die Mittelwerte der Monoensäuren im Verlauf der Laktation, dargestellt in % der Gesamtfettsäuren

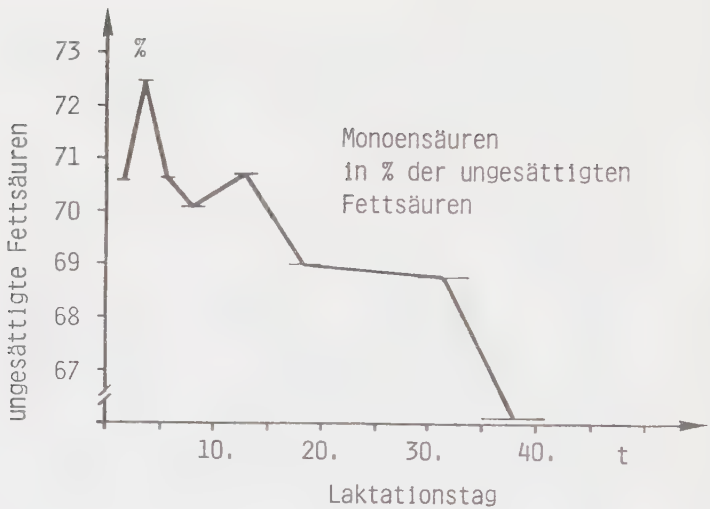


Abb. 25: Die Mittelwerte der Monoensäuren im Verlauf der Laktation, dargestellt in % der ungesättigten Fettsäuren

	./. der Gesamtfettsäuren		./. der ungesättigten Fettsäuren
	Bereich	Mittelwerte	Mittelwerte
Kolostrum	33,5-50,3	41,17	72,16
transit. Milch	29,9-48,7	39,30	70,10
reife Milch	30,4-45,6	37,81	68,83

Weiterhin wird deutlich, daß die Monensäuren den größtem Anteil unter den ungesättigten Fettsäuren einnehmen.

2.2.4

Polyensäuren

In 6 von 10 Fällen war nach erfolgter Milchreifung der Polyensäuregehalt höher als zu Beginn der Laktation.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	2	W.Sch., E.R.
" Abfall	1	A.R.
1. Anstieg 2. Abfall	5	W.B., W.D., A.A., B.St., J.H.
1. Abfall 2. Anstieg	2	S.H., M.H.

Von den 5 Frauen mit initialem Anstieg des Polyensäuregehaltes war in 3 Fällen der anschließende Abfall der Werte nur relativ gering ausgeprägt, während er in den beiden anderen

Fällen für den Verlauf bestimmend war. Von den beiden Frauen, in deren Proben der anfängliche Abfall beobachtet wurde, war nur in einem Fall der nachfolgende Anstieg dominierend. Trotz der offensichtlichen Schwankungen läßt sich ein eher ansteigender Verlauf der Werte feststellen, der sich auch im Verhalten der Mittelwerte bemerkbar macht (Abb. 26 und 27).

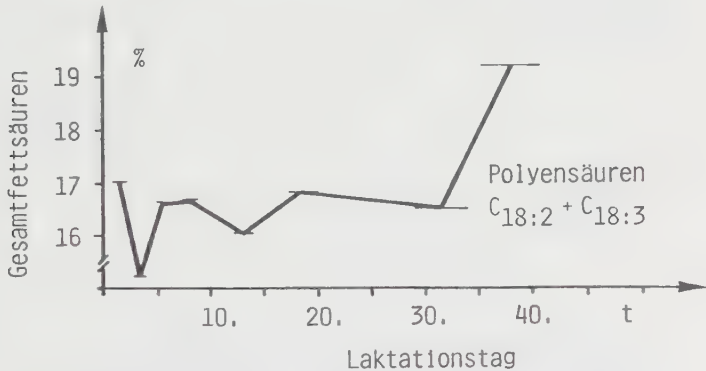


Abb. 26: Der durchschnittliche Polyensäuregehalt der Milch während der Laktation, dargestellt in % der Gesamtfettsäuren

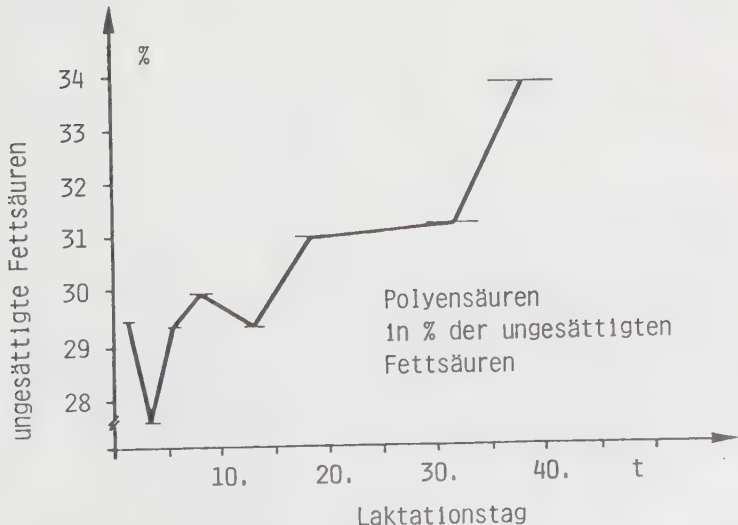


Abb. 27: Der durchschnittliche Polyensäuregehalt der Milch während der Laktation, dargestellt in % der ungesättigten Fettsäuren

	./.. der Gesamt-FS		./.. der ungesättigten-FS
	Bereich	Mittelwerte	Mittelwerte
Kolostrum	11,25-25,2	15,89	27,8
transit. Milch	11,15-29,50	16,59	29,6
reife Milch	11,00-22,60	17,12	31,2

2.2.5

Mittelkettige Fettsäuren

In allen 10 Fällen wurde in der reifen Milch ein höherer Gehalt an mittelkettigen Fettsäuren gemessen als im Kolostrum.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	8	S.H., W.Sch., W.B., W.D., E.R., S.St., J.H., A.R.
" Abfall	-	-
1. Anstieg	2. Abfall 2	M.H., A.A.
1. Abfall	2. Anstieg -	-

Der terminale Abfall bei den beiden Probandinnen M.H. und A.A. war allerdings so gering ausgeprägt, daß er fast vernachlässigt werden konnte. Auch am Verhalten der Mittelwerte im Verlauf der Laktation war die eindeutig ansteigende Tendenz der Werte zu erkennen (Abb. 28 und 29).

	./.. der Gesamt-FS		./.. der gesättigten FS
	Bereich	Mittelwerte	Mittelwerte
Kolostrum	1,2 -8,45	3,33	7,75
transit. Milch	2,3 -11,45	5,86	13,34
reife Milch	4,70-11,75	7,26	16,11



Abb. 28: Verhalten (Mittelwerte) der mittelkettigen Fettsäuren während der Laktation in % der Gesamtfettsäuren

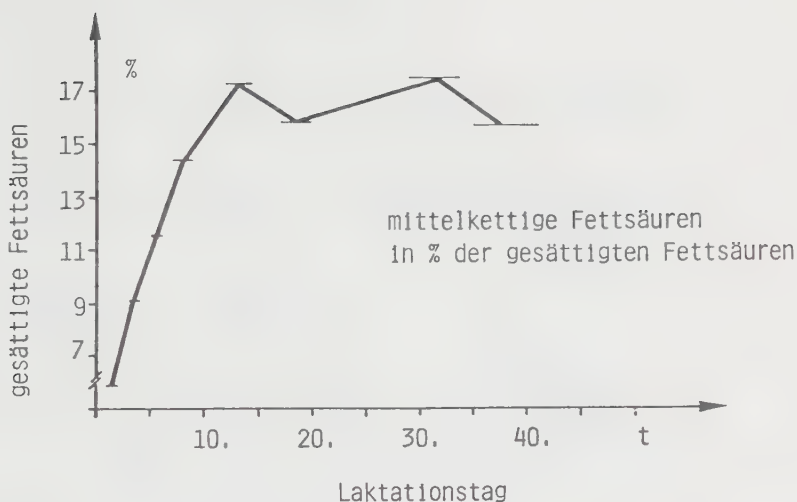


Abb. 29: Das Verhalten der Mittelwerte der mittelkettigen Fettsäuren während der Laktation, dargestellt in % der gesättigten Fettsäuren

2.2.6 Langkettige Fettsäuren

Bei 6 der 10 Frauen lag der in der reifen Milch gemessene Wert unter dem der Kolostralperiode.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	2	S.H., J.H.
" Abfall	3	W.B., E.R., A.R.
1. Anstieg 2. Abfall	1	M.H.
1. Abfall 2. Anstieg	4	W.B., W.D., A.A., B.St.

Von den zuletzt genannten 4 Versuchspersonen war in 2 Fällen der initiale Abfall für den Verlauf entscheidend. Bei Frau M.H. wog der terminale Abfall das anfängliche Ansteigen der Werte wieder auf. Trotz der offensichtlichen Schwankungen war an Hand der Mittelwerte ein eher abfallender Verlauf erkennbar (Abb. 30 und 31).

	./. der Gesamt-FS		./. der gesättigten-FS	
	Bereich	Mittelwerte	Mittelwerte	
Kolostrum	32,1 - 43,0	38,88	90,5	
transit. Milch	31,25-45,8	37,35	85,0	
reife Milch	29,95-42,6	37,05	82,2	

Weiterhin wird deutlich, daß der überwiegende Anteil der gesättigten Fettsäuren aus langkettigen FS besteht.

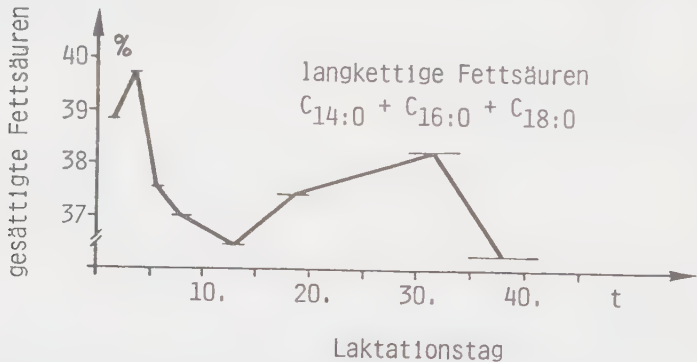


Abb. 30: Das Verhalten der Mittelwerte der langkettigen Fettsäuren während der Laktation, dargestellt in % der Gesamtfettsäuren

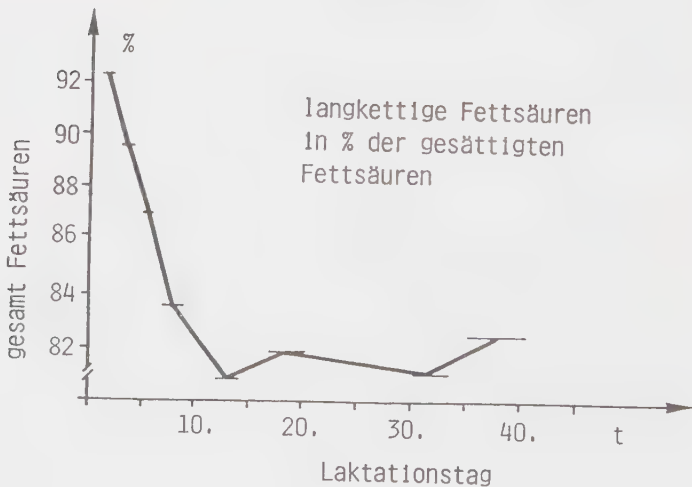


Abb. 31: Das Verhalten der Mittelwerte der langkettigen Fettsäuren während der Laktation, dargestellt in % der gesättigten Fettsäuren

2.2.7 Nahrungsabhängige Fettsäuren

2.2.7.1 C_{12:0}+C_{14:0}

In 9 von 10 Fällen lag der Mittelwert der reifen Laktationsphase über dem des Kolostrums.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg 9		S.H., W.D., W.Sch., W.B., E.R., A.A., B.St., J.H., A.R.
"	Abfall -	-
1. Anstieg	2. Abfall 1	M.H.
1. Abfall	2. Anstieg -	-

Nur bei Frau M.H. war der terminale Abfall der Werte stärker als der initiale Anstieg. Wie man jedoch aus dem Verlauf aller Mittelwerte ablesen kann, unterliegt die FS-Gruppe während der Laktation einer stark ansteigenden Tendenz (Abb. 32a).

./. der Gesamtfettsäuren		
	Bereich	Mittelwerte
Kolostrum	4,75-16,10	8,61
transit. Milch	5,70-19,55	10,69
reife Milch	7,90-18,60	11,78

2.2.7.2. C_{16:1}+C_{18:0}+C_{18:1}

Nach abgeschlossener Milchreifung wurden in allen 10 Fällen Werte gemessen, die durchschnittlich unter den Ausgangswerten lagen.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg -		-
"	Abfall 7	S.H., W.Sch., W.B., W.D., E.R., M.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall -	-
1. Abfall	2. Anstieg 3	A.A., B.St., J.H.

In den zuletzt genannten 3 Fällen war das Absinken der FS gegen Ende der Laktation nur sehr gering ausgeprägt. Die insgesamt also eher abfallende Tendenz dieser Fettsäuregruppe spiegelt sich auch im Verhalten der Mittelwerte wieder (Abb. 32b).

./. der Gesamtfettsäuren		
	Bereich	Mittelwerte
Kolostrum	58,95-77,75	69,33
transit. Milch	51,90-75,50	65,41
reife Milch	51,05-71,15	63,36

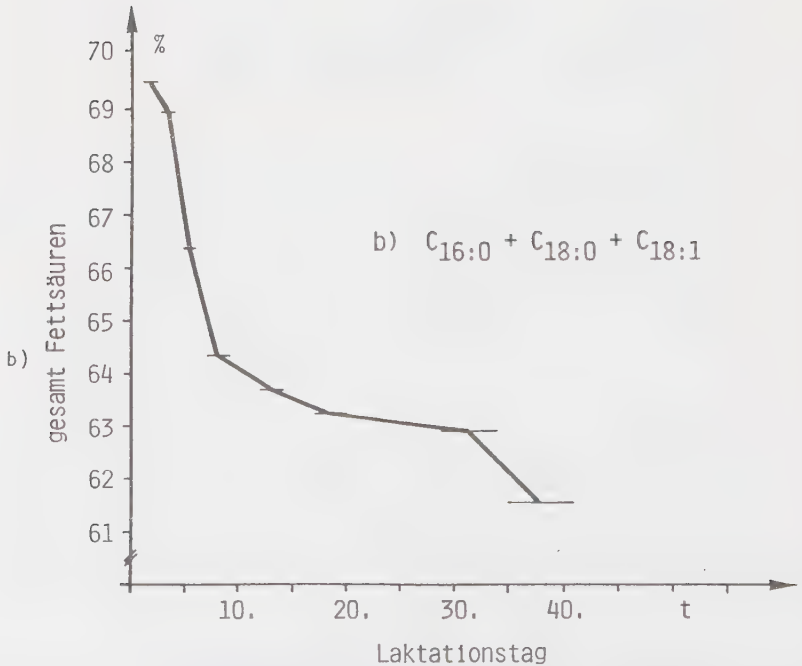
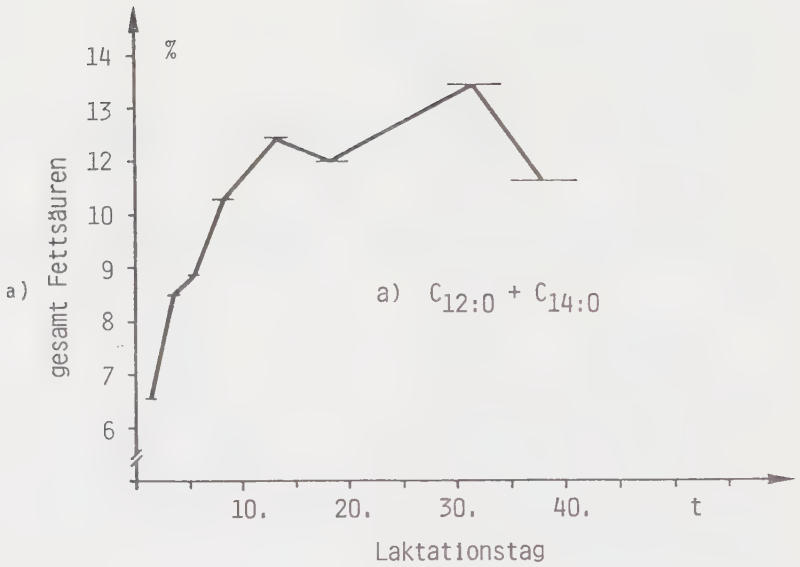


Abb. 32 a+b: Die Mittelwerte der beiden nahrungsabhängigen Fettsäuregruppen in ihrem Verlauf während der Laktation

2.3 Longitudinalverlauf des Fettgehaltes

2.3.1 Fettgehalt der frischen Milch

2.3.1.1 Bestimmung durch Analyse

Bei 8 von 10 Frauen lag der Fettgehalt der reifen Milch eindeutig über dem des Kolostrums.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg 6		S.H., W.Sch., W.B., E.R., M.H., A.R.
"	Abfall 1	B.St.
1. Anstieg	2. Abfall 1	A.A.
1. Abfall	2. Anstieg 2	W.D., J.H.

Bei Frau A.A. kam es gegen Ende der Laktation zu einem Absinken des Fettgehaltes, das den anfänglichen Anstieg vernachlässigen ließ. Bei den beiden Versuchspersonen, deren Milch einen initialen Abfall aufwies, war nur in einem Fall der sich anschließende Anstieg entscheidend stärker ausgeprägt. Insgesamt sprechen bei Berücksichtigung der Mittelwerte in den einzelnen Laktationsphasen die Ergebnisse für einen überwiegend ansteigenden Verlauf (Abb. 33).

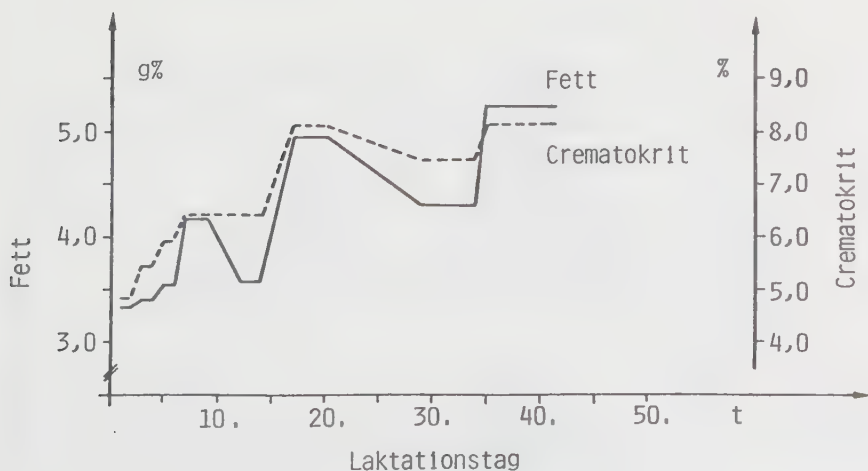


Abb. 33: Longitudinalverlauf der Fettkonzentration und des Crematokrites während der Laktation

- 60,-
g ./. .

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm \delta$)
Kolostrum	1,81-6,19	3,5 $\pm$ 1,08
transit. Milch	2,23-7,85	3,8 $\pm$ 0,75
reife Milch	2,06-7,27	4,17 $\pm$ 1,14

Trägt man die Häufigkeitsverteilungen für die jeweiligen Laktationsstadien getrennt auf, so erkennt man deutlich die Verschiebung zu höheren Fettkonzentrationen. Dabei fällt auf, daß besonders in der reifen Milch die Werte über einen weiten Bereich streuen. Vor allem in der transitorischen Laktationsphase erkennt man, daß die Fettkonzentrationen in den Proben in etwa normal verteilt sind (Abb. 34).

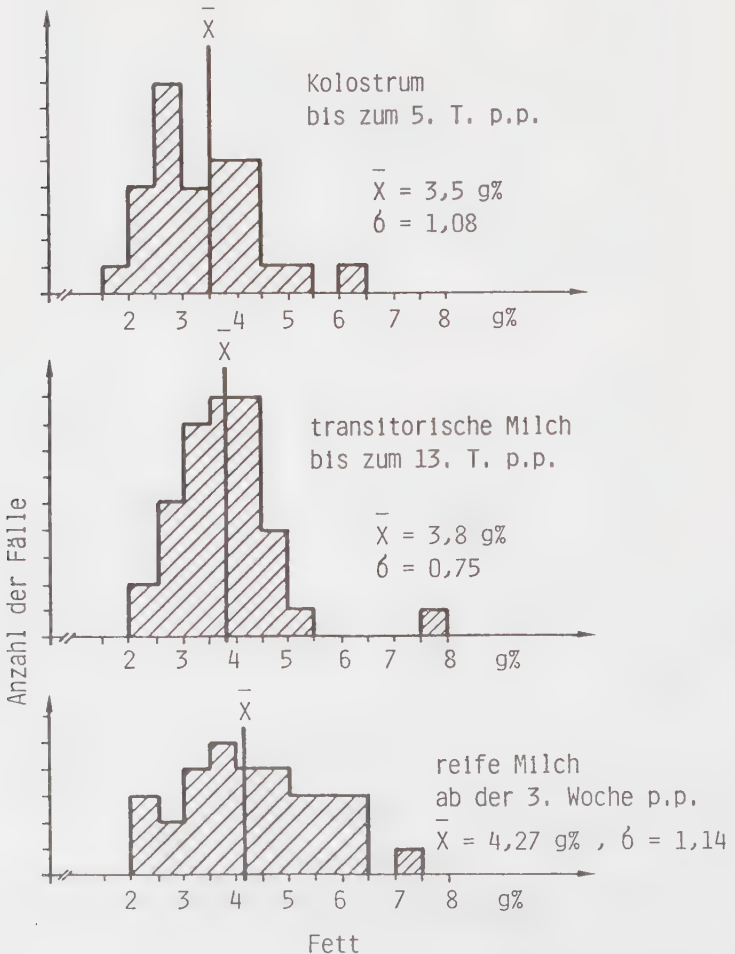


Abb. 34: Die Häufigkeitsverteilungen des Fettgehaltes der Muttermilch in den einzelnen Laktationsstadien

2.3.1.2 Crematokrit

Vergleicht man die Mittelwerte der Crematorkritbestimmung mit den entsprechenden Fettkonzentrationen aus der Analyse, so findet man während der gesamten Stillperiode einen zueinander parallelen Verlauf, wie die Abb. 33 zeigt.

Mittelwerte ($\bar{x} \pm 6$)

	Fettgehalt (g%)	Crematokrit (%)
Kolostrum	3,50 $\pm$ 1,08	5,31 $\pm$ 1,81
transit. Milch	3,80 $\pm$ 0,75	6,00 $\pm$ 1,15
reife Milch	4,28 $\pm$ 1,14	7,48 $\pm$ 0,93

Trägt man nun zu jeder durch Analyse ermittelten Fettkonzentration den dazugehörigen Crematokritwert auf, so erkennt man die enge Korrelation zwischen diesen beiden Parametern (Abb. 35).

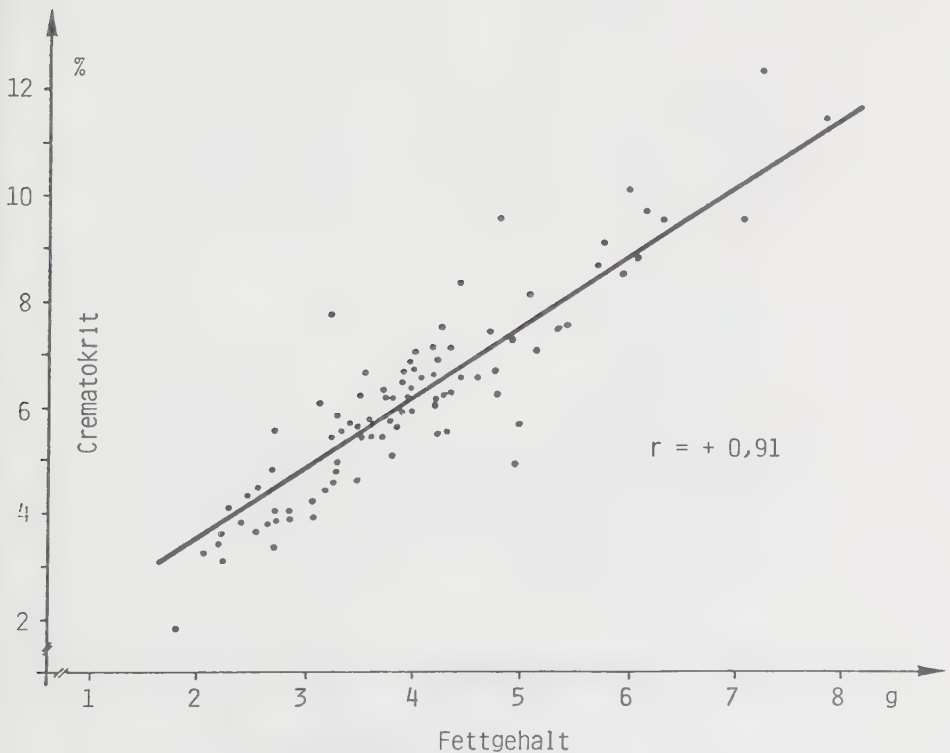


Abb. 35: Korrelation zwischen Fettkonzentration und Crematokritwert der Milchproben

2.4

Longitudinalverlauf des pH-Wertes

Bei 6 von 10 Versuchspersonen konnte in der reifen Milch ein niedrigerer pH-Wert gemessen werden als im Kolostrum.

Verlauf		n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg		3	W.D., E.R., M.H.
" Abfall		4	S.H., W.Sch., J.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall	-	-
1. Abfall	2. Anstieg	3	W.B., A.A., B.St.

Von der zuletzt erwähnten Gruppe kam es in 2 von 3 Fällen nur zu einem geringen terminalen Anstieg, so daß der initiale Abfall der Werte ausschlaggebend für den Verlauf war. Obwohl das Verhalten der Mittelwerte eher für eine absinkende Tendenz spricht (Abb. 36), läßt sich auf Grund der relativ großen Standardabweichung ein Abfall nicht eindeutig nachweisen.

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	7,40-8,46	7,80 $\pm$ 0,23
transit. Milch	7,10-8,01	7,66 $\pm$ 0,19
reife Milch	7,20-8,45	7,70 $\pm$ 0,19

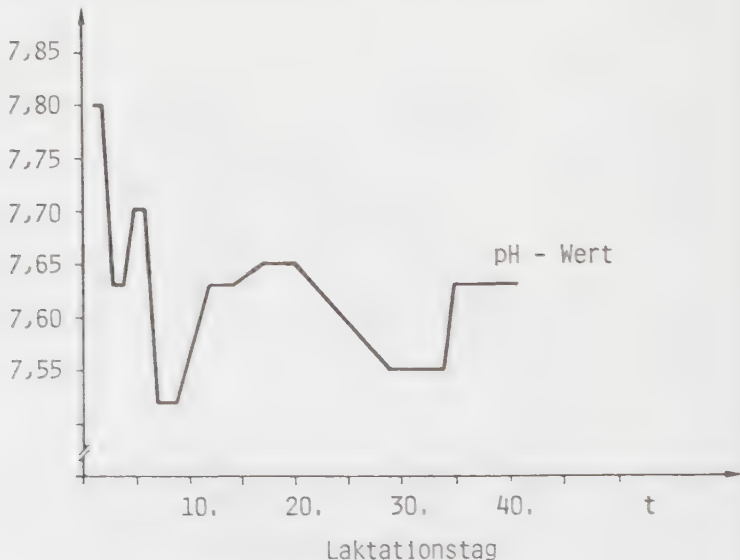


Abb. 36: Verlauf des durchschnittlichen pH-Wertes während der Laktation

Geht man davon aus, daß der pH-Wert den negativen dekadischen Logarithmus der H^+ -Ionenkonzentration darstellt, dann kommt man zu dem Ergebnis, daß diese H^+ -Ionenkonzentration zwischen dem 1. und 35. L.T. auf ca. das 1,8-fache des Ausgangswertes angestiegen ist.

2.5 Longitudinalverläufe der Spurenelemente

2.5.1 Cadmium

Bei 6 von 10 Frauen wiesen die Proben nach abgeschlossener Milchrreifung einen durchschnittlich niedrigeren Cadmiumgehalt auf als zu Beginn der Laktation.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	3	E.P., B.St., J.H.
"	Abfall 4	W.Sch., W.B., M.H., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall 1	A.A.
1. Abfall	2. Anstieg 2	S.P., W.L.

Im Fall der Versuchsperson A.A. war der terminale Abfall stärker als der anfängliche Anstieg des Cadmiumgehaltes. Dagegen überwog bei Frau S.H. der Anstieg gegen Ende der Stillperiode den initialen Abfall der Werte. Die trotz der Schwankungen eher absinkende Tendenz des Cadmiumgehaltes spiegelt sich auch im Verlauf der Mittelwerte wieder (s. Abb. 37).

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1.6$)
Kolostrum	1 - 51	17,7 $\pm$ 13,2
transit. Milch	1 - 41	14,9 $\pm$ 8,98
reife Milch	1 - 31	14,25 $\pm$ 5,24

Auffallend sind die großen Streuungsbereiche der Werte, die die relativ großen Standardabweichungen besonders zu Beginn der Laktation bewirken.

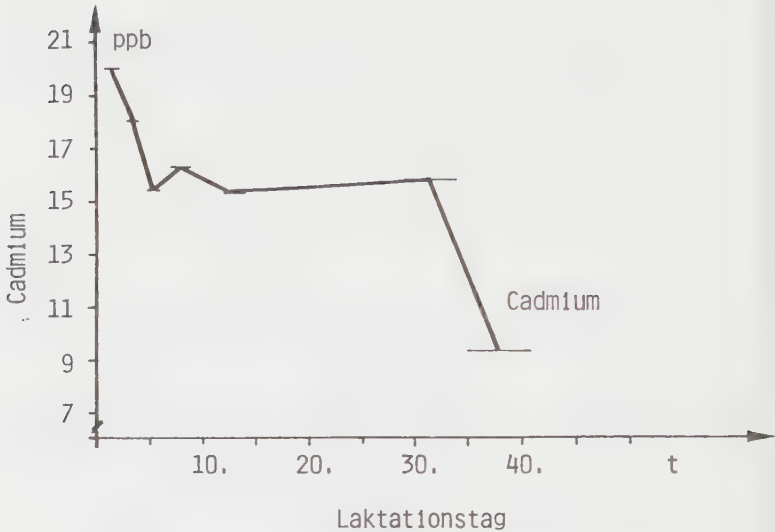


Abb. 37: Der durchschnittliche Cadmiumgehalt der Milch in seinem Verlauf während der Laktation

2.5.2

Chrom

Bei diesem Spurenelement waren die Schwankungen so ausgeprägt, daß eine eindeutige Aussage über den Verlauf während der Laktation nicht möglich ist.

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	1 - 359	73,8 $\pm$ 64,02
transit. Milch	1 - 361	72,02 $\pm$ 53,78
reife Milch	1 - 432	73,59 $\pm$ 42,11

Den genauen Verlauf der Mittelwerte zeigt Abb. 38.

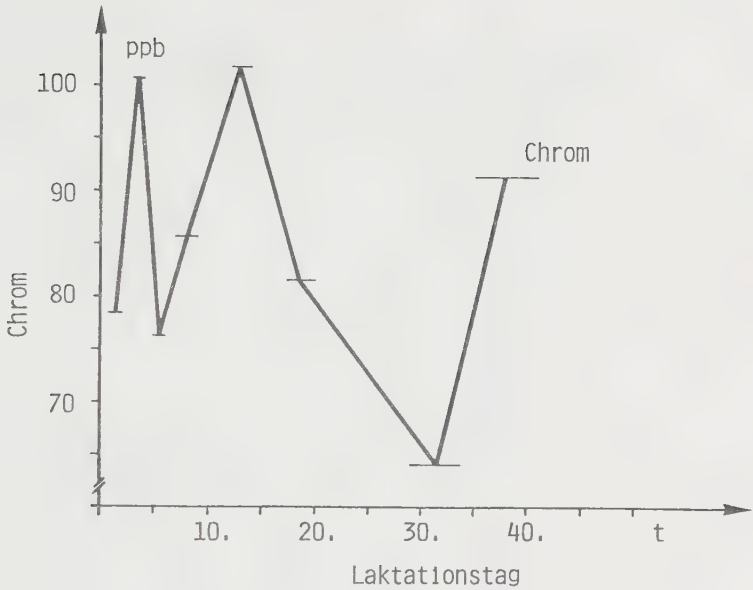


Abb. 38: Der durchschnittliche Chromgehalt der Milch in seinem Verlauf während der Laktation

2.5.3

Kupfer

In 6 von 10 Fällen enthielt die Milch der reifen Laktationsphase mehr Kupfer als das Kolostrum.

n Fälle		Versuchsperson	
kontinuierlicher Anstieg	4	W.Sch., W.D., E.R., A.A.	
" Abfall	4	S.H., W.B., B.St., A.R.	
1. Anstieg	2. Abfall	2	M.H., J.H.,
1. Abfall	2. Anstieg	-	-

Bei den 2 Versuchspersonen, deren Milch einen initialen Anstieg des Kupfergehaltes zeigte, stellte sich der nachfolgende Abfall der Werte als unbedeutend heraus. Auch bei diesem Spurenelement waren die individuellen Schwankungen so stark ausgeprägt, daß keine einheitliche Richtung im Verlauf der Mittelwerte erkennbar war (s. Abb. 39).

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1.6$)
Kolostrum	108-2355	430,69 $\pm$ 387,20
transit. Milch	57-2497	486,67 $\pm$ 320,11
reife Milch	172-942	368,43 $\pm$ 71,58

Wiederum fällt die große Streubreite der Werte besonders zu Beginn der Laktation auf, die sich u.a. auch in der großen Standardabweichung äußert.

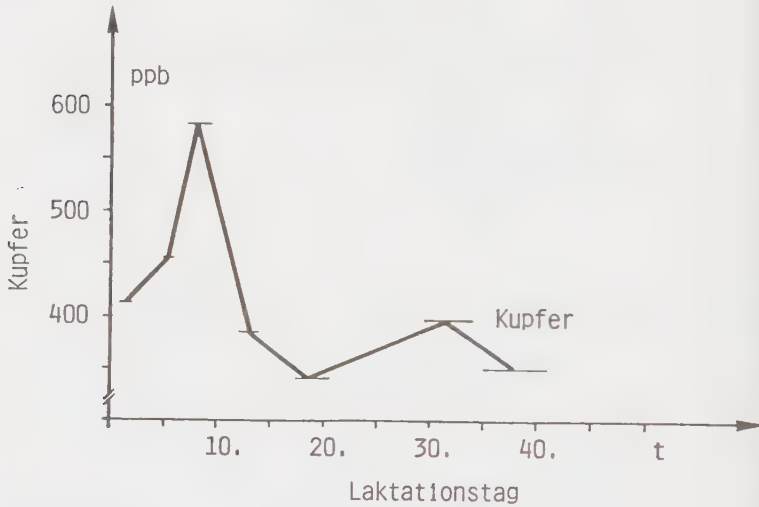


Abb. 39: Das Verhalten des durchschnittlichen Kupfergehaltes der Milch während der Laktation

2.5.4

Bei 5 von 10 Versuchspersonen konnte in der reifen Milch ein höheres Mangangehalt festgestellt werden als im Kolostrum.

n Fälle		Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	1	W.D.
"	Abfall 3	W.Sch., B.St., A.R.
1. Anstieg	2. Abfall 2	M.H., A.A.
1. Abfall	2, Anstieg 4	S.H., W.B., E.R., A.R.

Von den 6 Frauen, in deren Milch kein einheitlicher Verlauf beobachtet werden konnte, überwog in 4 Fällen der initiale bzw. terminale Anstieg der Werte. Der Verlauf der Mittelwerte spricht für eine leicht ansteigende Tendenz der Mangankonzentration in der Milch (s. Abb. 40).

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	14-74,0	31,88 + 9,56
transit. Milch	17-44,4	31,07 + 6,30
reife Milch	18-55,0	34,96 + 5,14

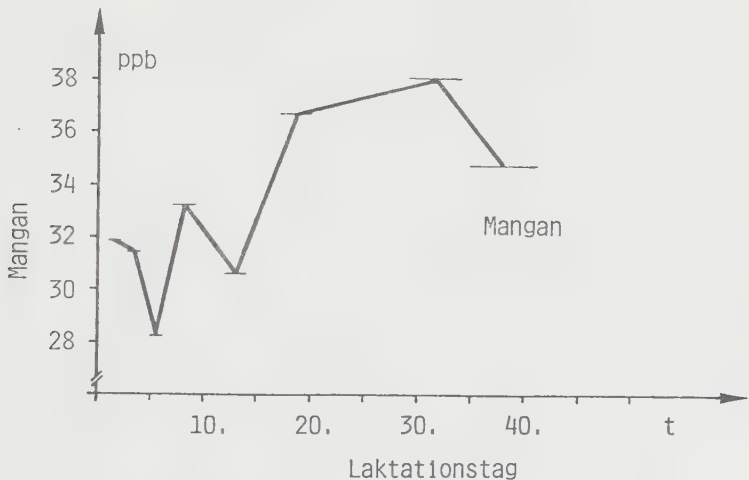


Abb. 40: Das Verhalten des durchschnittlichen Mangan-
gehaltes der Milch während der Laktation

2.5.5

Blei

6 von 10 Frauen wiesen nach abgeschlossener Milchreifung in den Proben niedrigere Bleikonzentrationen auf als zu Beginn der Laktation.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg	3	E.R., A.A., B.St.
" Abfall	2	W.B., A.R.
1. Anstieg 2. Abfall	4	S.H., W.Sch., M.H., J.H.
1. Abfall 2. Anstieg	1	W.D.

Von den 4 Versuchspersonen, bei denen anfänglich ein ansteigender Verlauf der Werte zu beobachten war, kam es anschließend zu einem wesentlich stärkeren Absinken der Bleikonzentrationen. Trotz der weiten Streuung der Werte spricht der Verlauf der Mittelwerte eher für eine abfallende Tendenz (s. Abb. 41)..

		ppb
	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	1 - 420	70,26 $\pm$ 54,56
transit. Milch	1 - 179	51,88 $\pm$ 31,53
reife Milch	9 - 107	43,37 $\pm$ 10,30

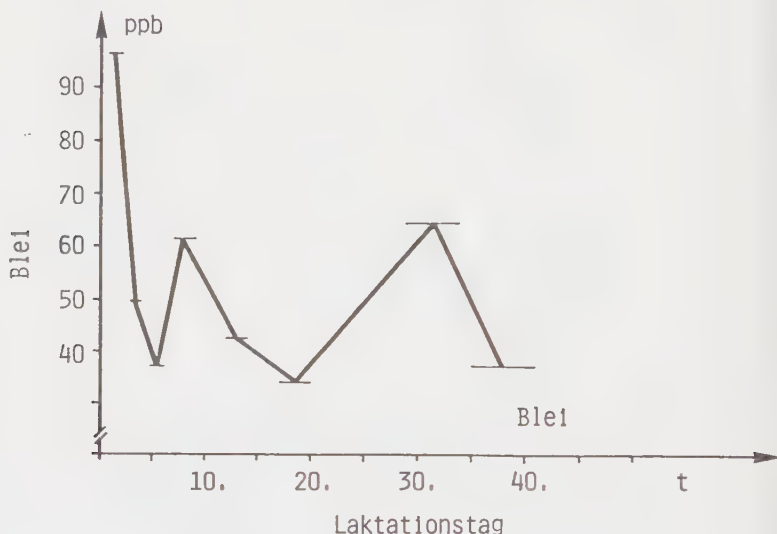


Abb. 41: Der durchschnittliche Bleigehalt der Muttermilch in seinem Verhalten während der Laktation

2.5.6

Zink

In 9 von 10 Fällen wies die Milch des reifen Laktationsstadium deutlich niedrigere Zinkkonzentrationen auf als das Kolostrum.

	n Fälle	Versuchsperson
kontinuierlicher Anstieg -	-	-
" Abfall	5	W.Sch., W.B., B.St., J.H., A.R.
1. Anstieg 2. Abfall	3	S.H., E.R., A.A.
1. Abfall 2. Anstieg	2	W.D., M.H.

Von den insgesamt 5 Frauen, bei denen kein einheitlicher Verlauf festgestellt werden konnte, war der initiale bzw. terminale Anstieg in 4 Fällen nur sehr unbedeutend gegenüber dem wesentlich größeren Abfall der Werte.

Diese abfallende Tendenz der Zinkkonzentrationen wird durch den Verlauf der Mittelwerte der einzelnen Laktationsperioden bestätigt (s. Abb. 42).

	Bereich	Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)
Kolostrum	30 - 68	44,73 $\pm$ 11,20
transit. Milch	30 - 68	40,82 $\pm$ 6,63
reife Milch	24 - 63	33,94 $\pm$ 6,56

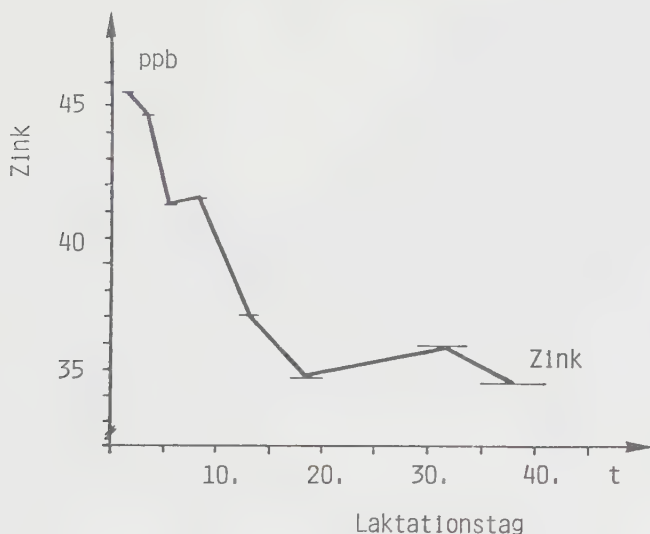


Abb. 42: Das Verhalten des durchschnittlichen Zinkgehaltes der Muttermilch während der Laktation

Die beiden folgenden Grafiken zeigen die Häufigkeitsverteilungen der toxischen Spurenelemente Blei und Cadmium in den untersuchten Milchproben (Abb. 43 und 44).

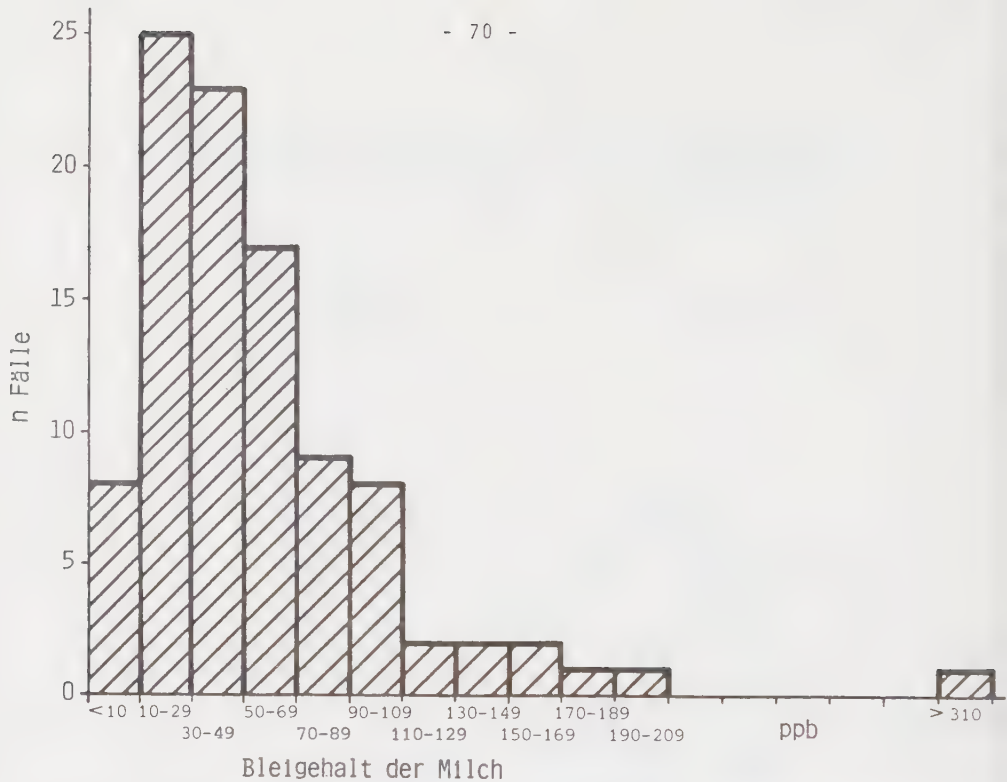


Abb. 43: Die Häufigkeitsverteilung der Bleikonzentration in Muttermilch (ppb=µg/l)

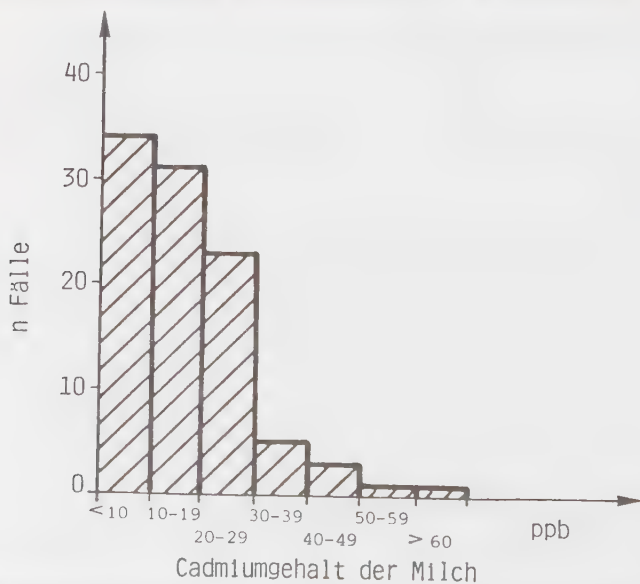


Abb. 44: Die Häufigkeitsverteilung der Cadmiumkonzentration in Muttermilch

Veränderungen der Milch im Verlauf eines Stillvorganges

(n = 95)	pH-Wert	Crematokrit (%)
Portion I	7,63 $\pm$ 0,21	4,40 $\pm$ 1,64
Portion II	7,71 $\pm$ 0,22	8,34 $\pm$ 2,80

Tabelle 3: Durchschnittlicher pH- und Crematokritwert der ersten und letzten Portion der Milchprobe

Die Ergebnisse zeigen einen eindeutigen und obligat vorhandenen Anstieg des Crematokritwertes während einer Mahlzeit. Die Differenz zwischen den Werten der ersten und letzten Portion betrug durchschnittlich 89,6% des Ausgangswertes. Bei der nachgewiesenen engen Korrelation zwischen Crematokritwert und Fettgehalt der Milch, kann man einen Anstieg der Fettkonzentration ebenfalls als gesichert ansehen. Der pH-Wert dagegen änderte sich im Verlauf einer Mahlzeit nur unwesentlich. Läßt man die relativ große Standardabweichung unberücksichtigt, so handelt es sich um einen geringfügigen Anstieg von ca. 1% des Ausgangswertes, der einem Abfall der absoluten H^+ -Ionenkonzentration um ca. 17% entspricht. Die Häufigkeitsverteilung der Crematokritwerte von Portion I und II verdeutlicht nochmals die Verschiebung der MilCHFettkonzentration zu höheren Werten während des Stillens (Abb. 45).

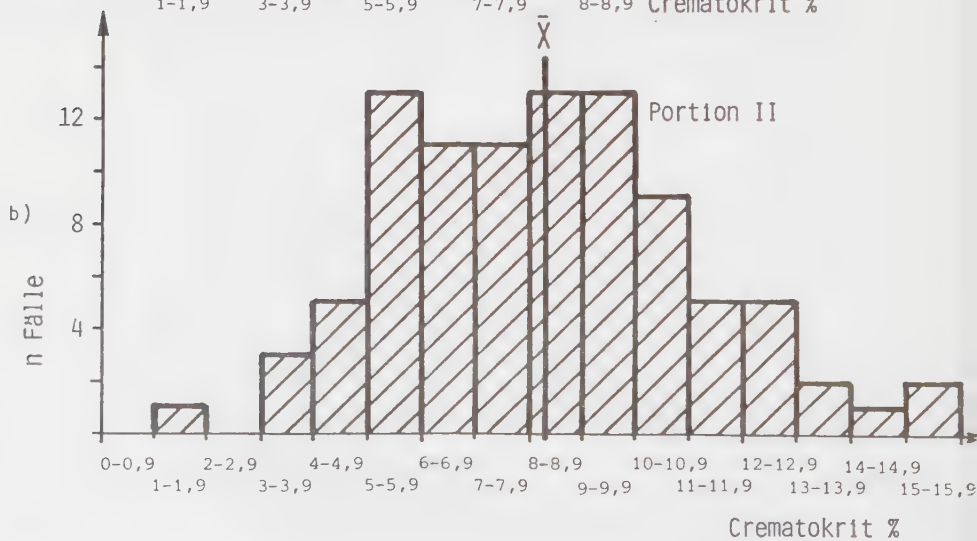
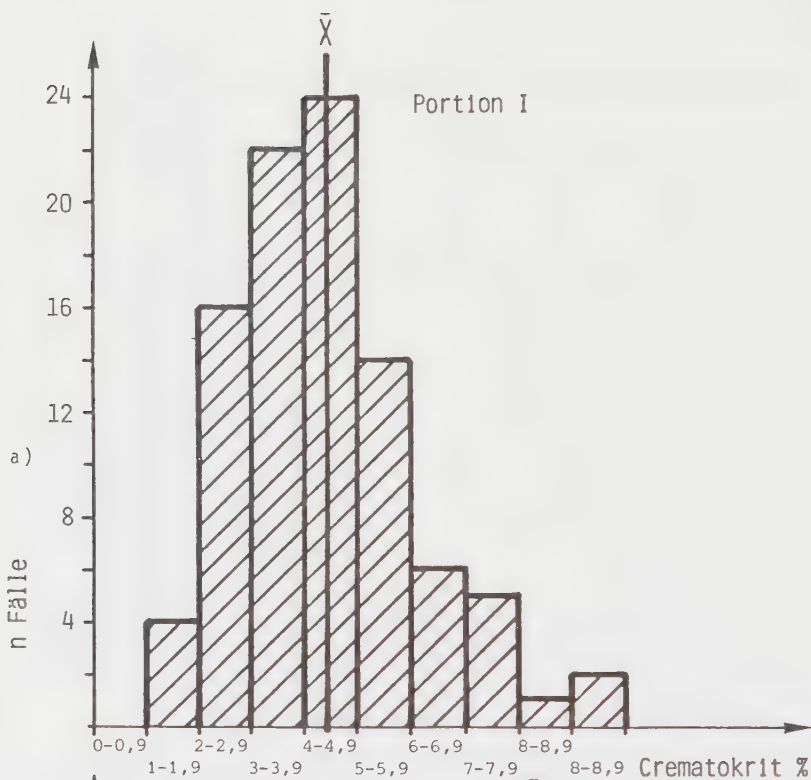


Abb. 45 a + b: Die Häufigkeitsverteilung des Fettgehaltes in der ersten (a) und letzten (b) Portion der Milchproben, bestimmt mit der Crematokritmethode

2.7 Die Zusammensetzung der Nahrung von 4 Versuchspersonen und deren Einfluß auf das FS-Muster der Milch

Mittelwerte ($\bar{x} \pm 1\sigma$)

Name	Kcal	Fett(%)	KH(%)	vielfach unges.FS(g)	ges.FS(g)	P/S
W.Sch.	2047,86 $\pm$ 515,17	43,65 $\pm$ 7,37	42,82 $\pm$ 7,37	8,40 $\pm$ 4,08	48,11 $\pm$ 13,78	0,19 $\pm$ 0,10
W.B.	1720,16 $\pm$ 523,42	46,61 $\pm$ 6,02	37,98 $\pm$ 6,97	6,22 $\pm$ 3,38	43,38 $\pm$ 15,11	0,15 $\pm$ 0,06
E.R.	2871,55 $\pm$ 620,90	39,80 $\pm$ 5,79	44,66 $\pm$ 8,05	15,1 $\pm$ 6,30	61,62 $\pm$ 18,65	0,25 $\pm$ 0,08
M.H.	2406,98 $\pm$ 446,38	35,34 $\pm$ 6,17	49,64 $\pm$ 8,38	7,56 $\pm$ 3,36	48,23 $\pm$ 13,99	0,18 $\pm$ 0,10

Bereiche (Minimum-Maximum)

Name	Kcal	Fett(%)	KH(%)	vielfach unges.FS(g)	ges.FS(g)	P/S
W.Sch.	1168,97-3885,22	30,08-59,50	27,42-56,95	2,60-20,54	17,05-71,87	0,07-0,50
W.B.	815,50-2566,95	38,27-58,96	25,11-51,21	1,53-17,63	13,98-68,87	0,07-0,31
E.R.	2034,74-3849,75	27,05-48,92	31,87-64,46	7,17-26,94	34,51-101,09	0,13-0,40
M.H.	1250,80-3061,75	25,66-49,05	27,51-59,11	1,93-14,89	29,26-75,92	0,05-0,44

Tabelle 4a: Durchschnittliche Zusammensetzung der Nahrung bei 4 Versuchspersonen

Tabelle 4b: Streubreite der Nahrungsbestandteile während der gesamten Laktation bei 4 Versuchspersonen

Obwohl die Unterschiede der Nahrungszusammensetzung bei nicht experimenteller Diät nicht sehr stark ausgeprägt sein können, wurde an Hand dieser 4 Versuchspersonen versucht, eventuell auftretende Unterschiede im FS-Muster der Milch aufzuzeigen. Einen Überblick über die beobachteten nahrungsabhängigen FS-Spektren liefern Abb. 46 und Tabelle 4.

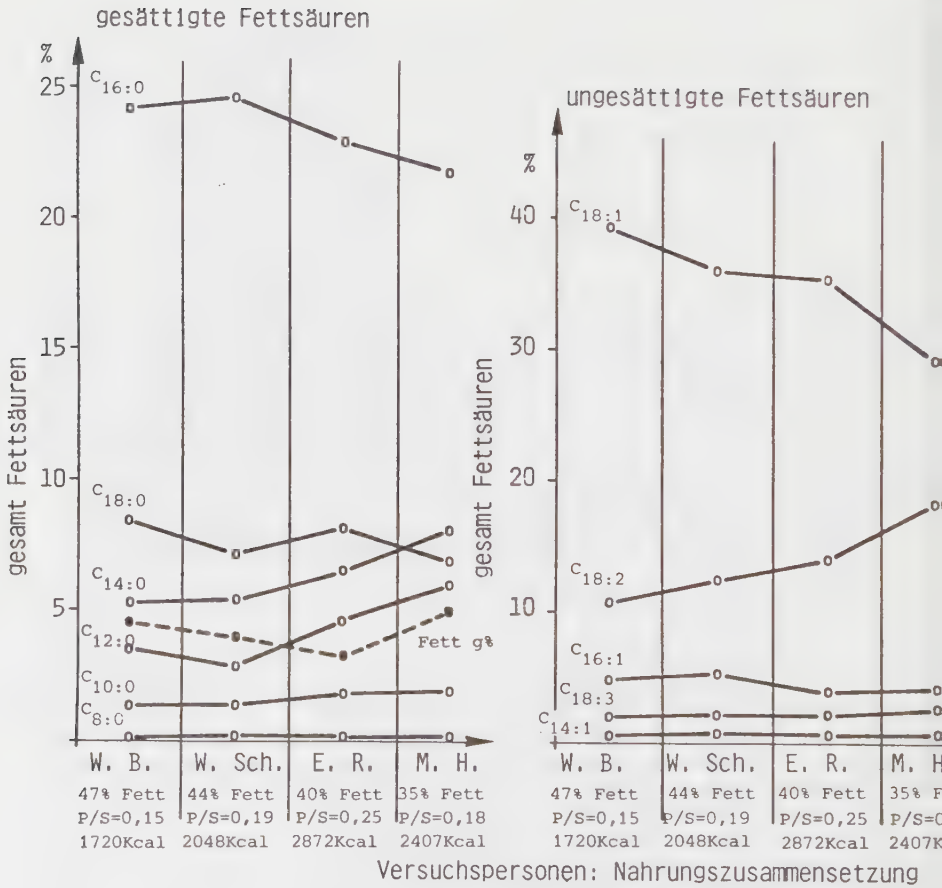


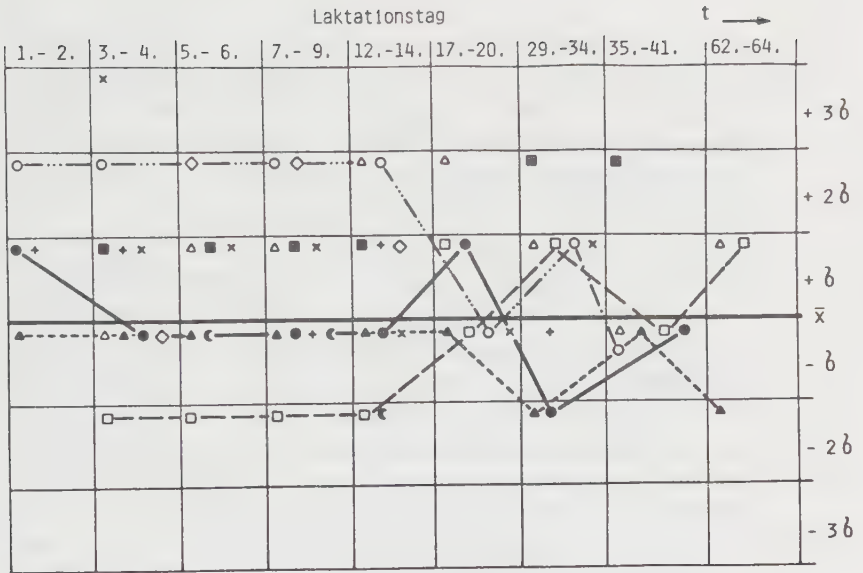
Abb. 46: Das durchschnittliche Fettsäuremuster der Milch während der Stillperiode bei 4 Versuchspersonen mit unterschiedlicher Nahrungszusammensetzung

Name	Nahrungs- zusammensetzung	C ₁₀	C ₁₂	C _{14:0}	C _{14:1}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{12+C_{14:0}}	C _{16:0+C_{18:0}}	C _{18:1}
W.B.	Ka1 $\uparrow\uparrow$, Fett $\uparrow\uparrow$ KH $\uparrow\uparrow$, P/S $\uparrow\uparrow$	1,42	3,78	5,44	0,44	23,98	4,67	8,47	38,55	10,82	1,83	9,22	70,99	
W.Sch.	Ka1 $\uparrow$, Fett $\uparrow$ KH $\uparrow$, P/S $\uparrow$	1,46	3,06	5,39	0,62	24,23	5,17	7,11	37,69	12,50	2,03	8,45	69,03	
E.R.	Ka1 $\uparrow\uparrow$, Fett $\uparrow$ KH $\uparrow$, P/S $\uparrow$	1,71	4,24	6,40	0,64	23,23	3,85	8,06	35,55	13,54	2,14	10,64	66,98	
M.H.	Ka1. $\uparrow$, Fett $\uparrow\uparrow$ KH $\uparrow\uparrow$, P/S $\uparrow$	1,91	5,86	8,00	0,60	21,74	4,04	6,81	29,11	18,31	2,56	13,86	57,66	

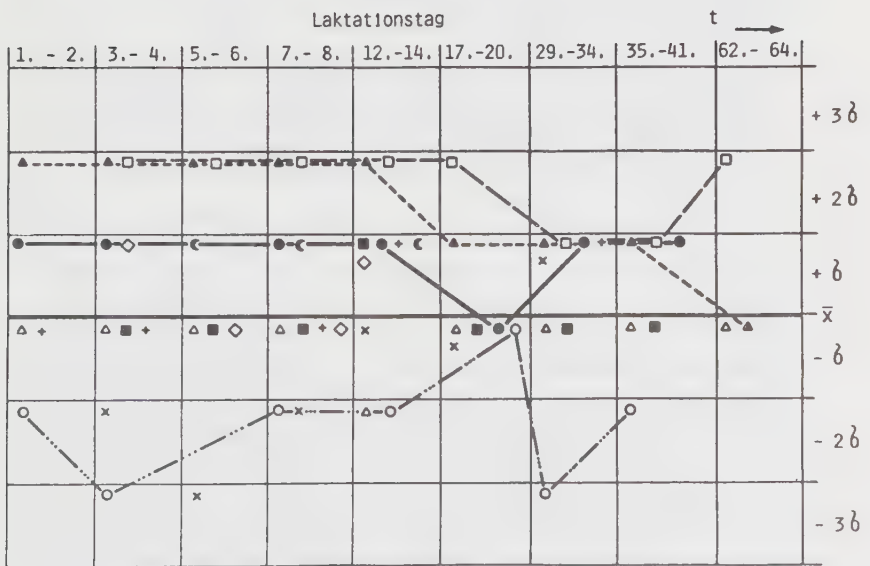
Name	Nahrungs- zusammensetzung	Fett	unges. FS	Monoen- säuren	Polyen- säuren	gesätt. FS	mittel- kettige FS	lang- kettige FS
W.B.	Ka1 $\uparrow\uparrow$, Fett $\uparrow\uparrow$ KH $\uparrow\uparrow$, P/S $\uparrow\uparrow$	4,61	56,31	43,67	12,64	43,69	5,19	37,88
W.Sch.	Ka1 $\uparrow$, Fett $\uparrow$ KH $\uparrow$, P/S $\uparrow$	4,03	58,01	43,48	14,53	41,99	4,52	36,73
E.R.	Ka1 $\uparrow\uparrow$, Fett $\uparrow$ KH $\uparrow$, P/S $\uparrow$	3,26	55,69	40,04	15,68	44,31	5,94	37,69
M.H.	Ka1 $\uparrow$, Fett $\uparrow\uparrow$ KH $\uparrow\uparrow$, P/S $\uparrow$	4,97	54,61	33,89	20,87	45,39	7,76	36,55

Tabelle 4: Der durchschnittliche Gehalt der Milch an Fett und Fettsäuren bei 4 Müttern mit unterschiedlicher Nahrungszusammensetzung

Da reifungsbedingte Veränderungen im Gehalt der einzelnen FS eine Beurteilung des Nahrungseinflusses erschweren, wurden die Werte entsprechend ihrer Abweichung vom Mittelwert des jeweiligen Laktationsstadiums in einem Diagramm aufgetragen. Die Abbildungen 47 a und b zeigen, daß die 2 Frauen mit den größten Differenzen in der Nahrungszusammensetzung (M.H., W.B.) sich auch in der Lage der nahrungsabhängigen Fettsäuren zum Mittelwert am stärksten voneinander unterschieden.



a) $C_{12:0} + C_{14:0}$



b) $C_{16:0} + C_{18:0} + C_{18:1}$

Abb. 47 a+b: Die Lage der nahrungsabhängigen Fettsäuregruppen zum Mittelwert des jeweiligen Laktationsstadiums bei 4 Versuchspersonen mit unterschiedlicher Nahrungszusammensetzung. ●—● 2407 kcal, 35% Fett, 50% KH, ○—○ 2872 kcal, 40% Fett, 45% KH, —▲ 2048 kcal, 44% Fett, 43% KH, □—□ 1720 kcal, 47% Fett, 38% KH

Je größer der Fettanteil der Nahrung war, desto niedriger waren die Werte derjenigen FS, die der Eigensynthese der Brust entstammten ($C_{12:0}+C_{14:0}$). Bei Frau W.B. wurden sie hauptsächlich im Bereich der 2. Standardabweichung unter dem Mittelwert angetroffen, während die aus dem Blut bzw. aus der Nahrung kommenden FS ($C_{16:0}+C_{18:0}+C_{18:1}$) gleichzeitig innerhalb der 2. positiven Standardabweichung lagen.

Ein entgegengesetztes Verhalten konnte bei kohlenhydratreicher Nahrung beobachtet werden (Frau M.H.): Niedrige Werte der Palmitin-Stearin- und Ölsäure bei gleichzeitig in hohen Bereichen (+26) liegenden $C_{12:0}+C_{14:0}$ -Fettsäuren. Es fiel auf, daß sich bei dieser Frau (M.H.) eine Änderung in der Nahrungszusammensetzung am darauffolgenden Tag in einem entsprechenden Verhalten der nahrungsabhängigen Fettsäuren bemerkbar machte. Diese Tendenz wird in Abb.48 besonders deutlich. Ein erhöhter Fettanteil in der sehr kalorienreichen Ernährung von durchschnittlich 2800 kcal/Tag führt z.B. am 17. und 35. L.T. zu einem Absinken des Laurin- und Myristinsäuregehaltes aus dem +26 in den -16-Bereich. An Tagen nach besonders fettarmer Ernährung (28 - 30% der Gesamtkalorien) fielen dagegen die aus dem Blut, bzw. dem Nahrungsfett stammenden Fettsäuren ($C_{16:0}+C_{18:0}+C_{18:1}$) in den Bereich der 3-fachen negativen Standardabweichung ab (3. und 29. L.T.).

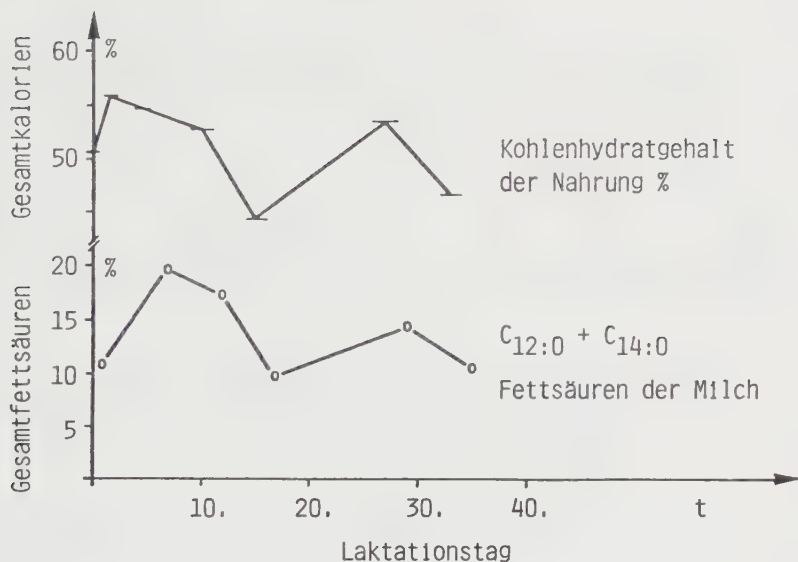


Abb. 48: Der Kohlenhydratgehalt der Nahrung der Versuchsperson M.H. und die sich ergebenden Änderungen im Gehalt der in Eigensynthese gebildeten Fettsäuren in der Milch (C_{12:0}+C_{14:0})

Bei weiterhin bestehenden Unterschieden in der Nahrungszusammensetzung der Versuchspersonen behielten nur die C_{16:0}+C_{18:0}+C_{18:1}-FS nicht jedoch die C_{12:0}+C_{14:0}-FS bis zum Ende der Laktation ihre Nahrungsabhängigkeit bei, wie der Konzentrationsverlauf dieser FS-Gruppen bei den 4 Versuchspersonen zeigt (Abb. 50). Der Polyensäuregehalt der Nahrung spiegelte sich nur selten im Polyensäuregehalt der Milch wieder. Nur bei Frau E.R., deren Nahrung im Vergleich zu den anderen Versuchspersonen sehr polyensäurereich war, folgte der Polyensäuregehalt der Milch in etwa dem P/S-Quotienten der Nahrung (Abb. 49). Gleichzeitig erschienen die aus dem Blut stammenden Monoensäuren und die langkettigen gesättigten Fettsäuren in geringeren Mengen in der Milch. Ein widersprüchliches Ergebnis brachte dagegen der Vergleich des Polyensäuregehaltes der Milchproben der Versuchspersonen E.R. und M.H.. Obwohl die Nahrung von Frau E.R. einen wesentlich höheren P/S-Quotienten aufwies, lag der Polyensäuregehalt der Milch weit unter den Werten von Frau M.H..

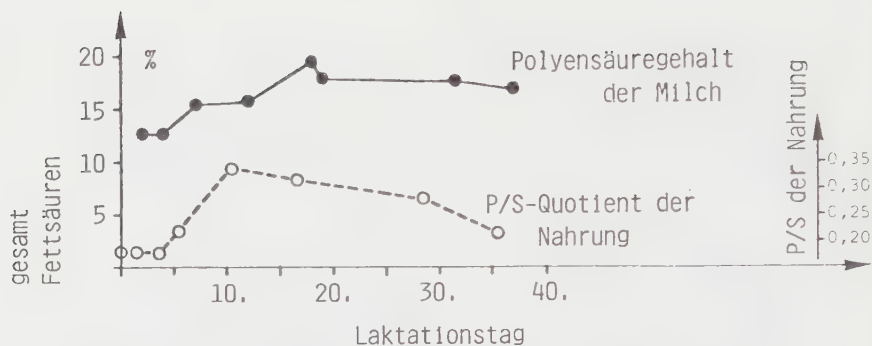


Abb. 49: Der P/S-Quotient der Nahrung im Verlauf der Laktation und die beobachteten Änderungen im Polyensäuregehalt der Milch bei einer Versuchsperson

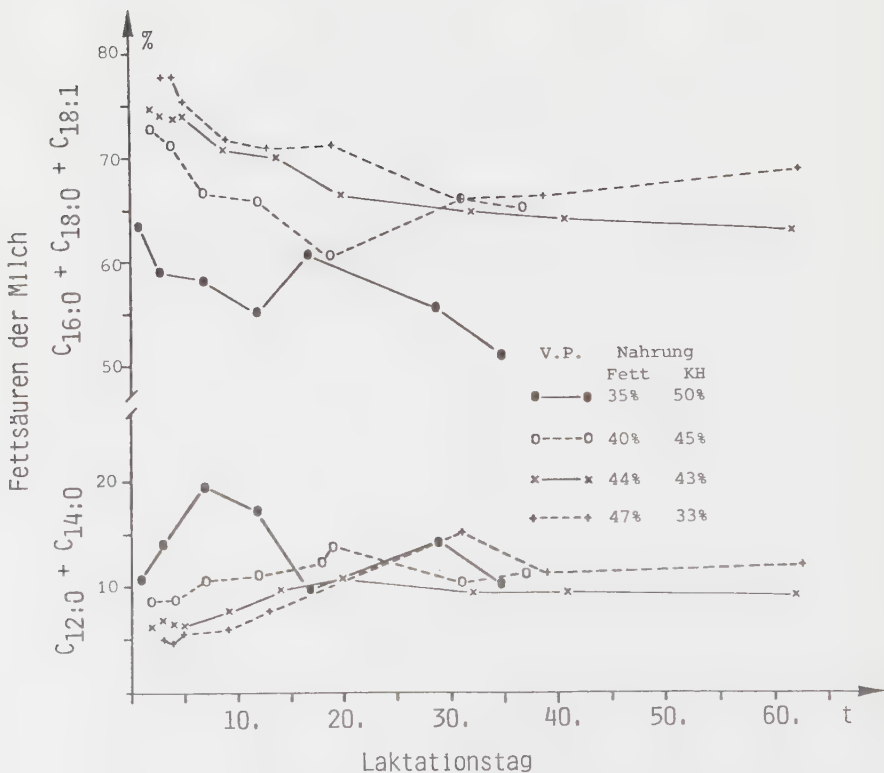


Abb. 50: Der Konzentrationsverlauf der nahrungsabhängigen Fettsäuren während der Laktation bei 4 Versuchspersonen mit unterschiedlicher Nahrungszusammensetzung

Bei der Versuchsperson S.H., die mit der Nahrung große Mengen vielfach ungesättigter Fettsäuren aufnahm (Distelöl, Sojabohnen), wurden bis zum 14. L.T. Linolenkonzentrationen gemessen, die im Bereich der 3. positiven Standardabweichung über dem Mittelwert lagen (s.Abb. 51!).

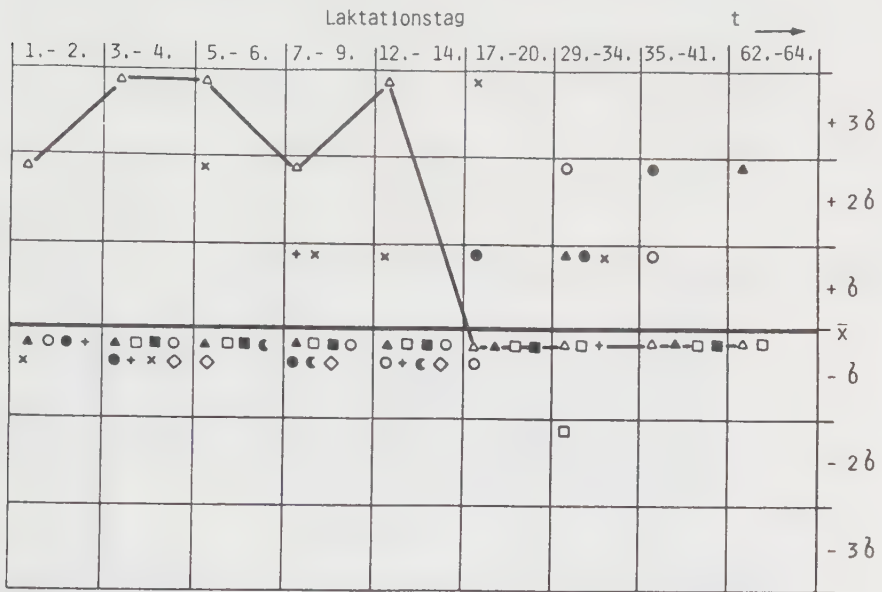


Abb. 51: Die Lage der C_{18:3}-FS zum Mittelwert des jeweiligen Laktationsstadiums, dargestellt an 10 Versuchspersonen mit unterschiedlichem Polyensäuregehalt der Nahrung. Δ — Δ : V.P. (S.H.) mit großem Polyensäuregehalt in der Nahrung

Da es sich in diesem Fall aber vorwiegend um Reformhausnahrung handelte, konnte der genaue Gehalt der Speisen an Polyensäuren und gesättigten FS nicht ermittelt werden, der zur Berechnung des P/S-Quotienten benötigt wird. Weiterhin fiel auf, daß einem geringeren Fettanteil in der Nahrung bei den 4 Versuchspersonen ein Anstieg des Polyensäuregehaltes der Milch folgte. Dabei handelte es sich vorwiegend um einen Konzentrationsanstieg der Linolensäure, während sich die Linolensäure nur geringfügig änderte. Zwischen dem Fettgehalt der Nahrung und dem MilCHFett konnte keine Abhängigkeit gefunden werden, wie die Abb. 52 zeigt.

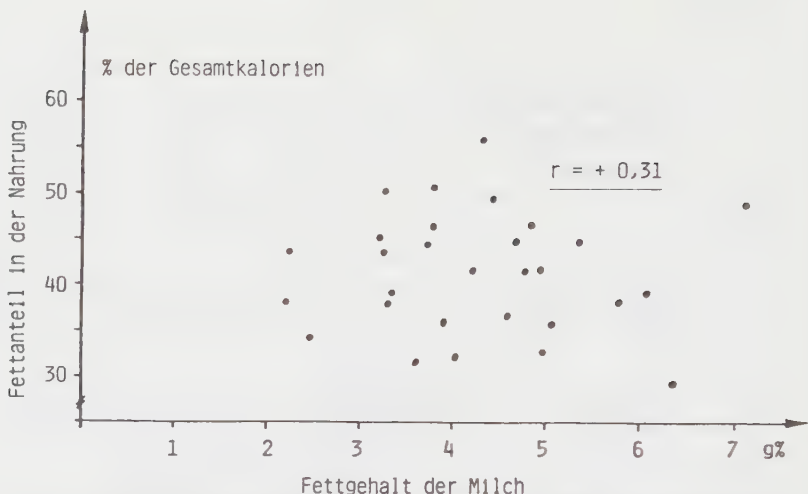


Abb. 52: Beziehung zwischen Fettgehalt der Nahrung und der Milchfettkonzentration

Allerdings konnte bei 2 Versuchspersonen (E.R., W.B.), deren Nahrung sich vor allem im Gesamtkaloriengehalt und P/S-Quotienten unterschied (Differenz von 1151 kcal!), dem jeweils höheren Fettgehalt der Nahrung auch eine entsprechende höhere Milchfettkonzentration zugeordnet werden. Dieses Verhalten veranschaulicht die Abb. 53:

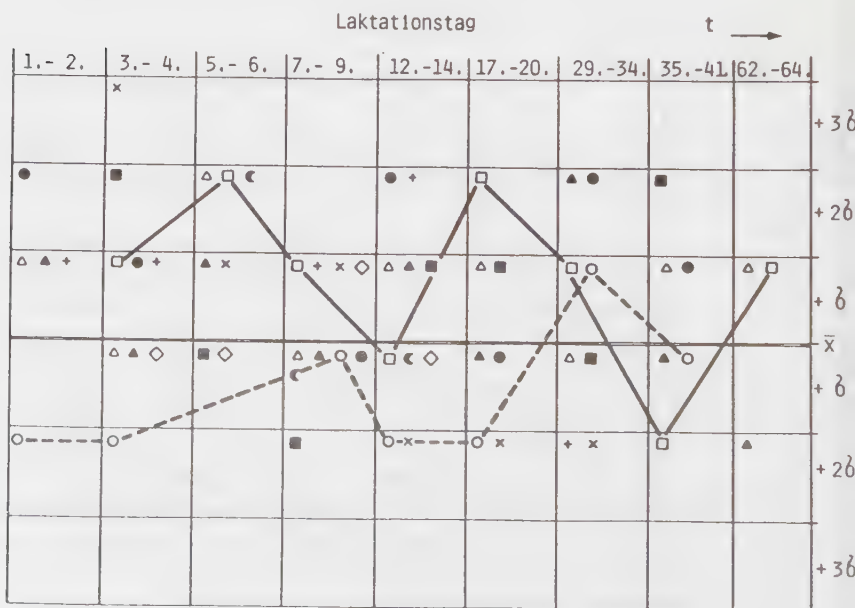


Abb. 53: Die Lage des Fettgehaltes der Milch zum Mittelwert im Verlauf der Laktation, demonstriert an 2 Versuchspersonen mit unterschiedlich fetthaltiger Nahrung. ○—○ E.R.: 40% Fett, 2872kcal, □—□ W.B.: 47% Fett, 1720kcal

Betrachtet man in der Abb. 46 die unterschiedlichen FS-Muster, die bei den 4 verschiedenen Nahrungstypen der Versuchspersonen in der Milch gefunden werden, so erkennt man, daß die in der Brust synthetisierten und die aus dem Blut bzw. dem Nahrungsfett stammenden Fettsäuren ein zueinander entgegengesetztes Verhalten aufweisen. Diese Beobachtung wird durch die negative Korrelation dieser beiden FS-Gruppen untermauert, die auch in der Abb. 54 zum Ausdruck kommt.

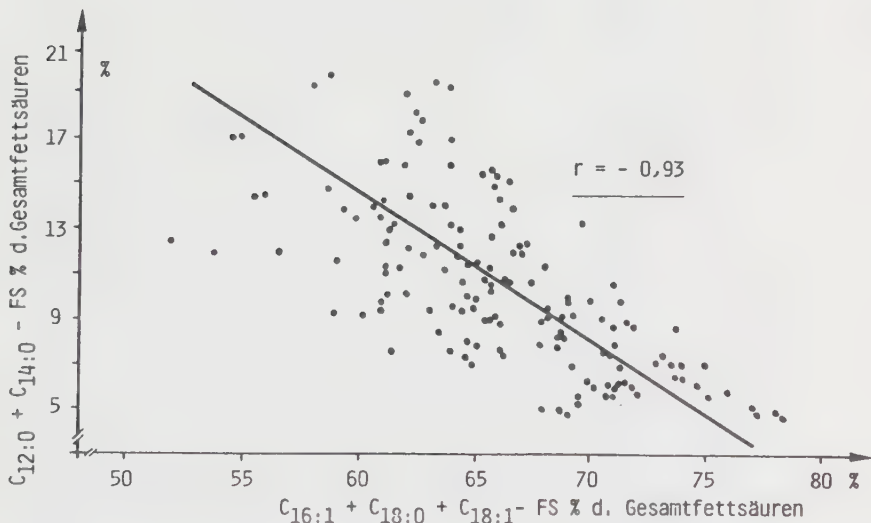


Abb. 54: Die Beziehung zwischen den aus dem Blut (bzw. der Nahrung) stammenden und den in der Brust synthetisierten Fettsäuren

Dieses Verhalten beruht auf der Tatsache, daß es mit zunehmenden Kohlenhydratanteil in der Nahrung zu einem Anstieg der $C_{12:0} + C_{14:0}$ -FS kommt, der von einem gleichzeitigen Abfall der $C_{16:0} + C_{18:0} + C_{18:1}$ -FS begleitet wird. Die Korrelation zwischen dem Kohlenhydratgehalt der Nahrung und dem Anteil dieser beiden FS-Gruppen an den Gesamtfettsäuren in der Milch zeigen die folgenden Abbildungen 55 a und b.

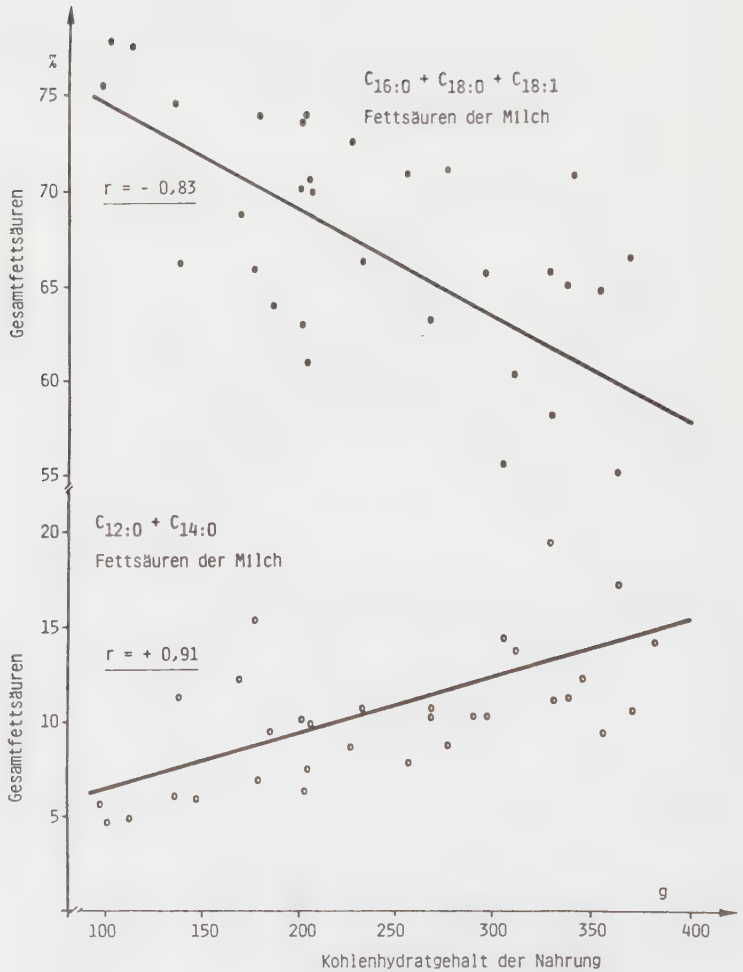


Abb. 55 a+b: Beziehung zwischen dem Kohlenhydratgehalt der Nahrung und den nahrungsabhängigen Fettsäuren: a) FS, die aus dem Blut bzw. dem Nahrungsfett stammen, b) FS aus der Eigensynthese in der Brust

IV. DISKUSSION

1. Zur Methodik

1.1 Das Kollektiv der Versuchspersonen

Die große Anzahl der Risikoschwangerschaften und -geburten unter den Probandinnen beruht auf dem selektiven Patienten-gut einer Universitätsklinik, so daß wahrscheinlich kein Normalkollektiv von Müttern vorlag. Dies war allerdings auch keine unbedingte Voraussetzung zur Durchführung dieser Studie, da die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in Form mehrerer Kasuistiken beschrieben und nicht rein stati-stisch aufgearbeitet werden sollten. Es fiel auf, daß die Gruppe der 10 Frauen, die am längsten an der Studie teil-genommen hatten, sich in wesentlichen Punkten von den übrigen Versuchspersonen unterschied, wie in Tabelle 5 deutlich wird. Diejenigen, die schon frühzeitig ausge-schieden waren, hatten durchschnittlich ein geringeres Alter und wiesen bei niedrigerer Geburtenzahl eine deut-lich höhere Rate an Fehlgeburten auf. Bei dieser Gruppe von Frauen konnte auch ein durchschnittlich späteres "Ein-schießen" der Milch beobachtet werden. Obwohl aufgrund des kleinen Kollektives keine statistisch signifikante Aussage möglich ist, wäre es denkbar, daß bei dieser Gruppe wegen der geringeren Erfahrung beim Stillen häufiger Schwierig-keiten auftraten. Es ist anzunehmen, daß die hohe Rate an Fehlgeburten eine zusätzliche psychische Belastung darstellte, die durch die oft daraus resultierende Über-ängstlichkeit den Kontakt zum Kind erschwerte. Dazu paßt auch, daß beim Ausscheiden dieser Frauen aus der Studie die Besorgnis der Mutter um eine für das Kind ausrei-chende Milchmenge eine große Rolle spielte.

	(Tage) Stilldauer	(Jahre) Alter	(%) Fehlge- burten	(%) Kontra- zeptiva	(n. Tag p.p.) 1. Laktationstag
Kollektiv I (n = 10)	45,1	30,9	30,0	50,0	1,9
Kollektiv II (n = 9)	5,8	27,7	55,5	77,8	2,9

Tabelle 6: Die Zusammensetzung des Versuchskollektives, aufgeteilt in 2 Untergruppen mit verschiedenen langer Stilldauer

3 der 10 näher untersuchten Frauen hatten postoperativ (z.B. Sectio) kurzfristig Glucoseinfusionen bekommen. Aus der Lage zum Mittelwert konnte speziell bei den nahrungsabhängigen FS kein Einfluß dieser einseitigen KH-Zufuhr auf die Zusammensetzung der Milch nachgewiesen werden. Allerdings erfolgte die erste Milchabnahme meist 2 oder 3 Tage nach den Infusionen, so daß eventuell aufgetretene qualitative Veränderungen im FS-Muster bereits nicht mehr nachweisbar waren. Erwiesenermaßen wird Glucose bei Umgehung der Resorptionsvorgänge schon nach einer kurzen Zeitspanne von den Zellen aufgenommen und metabolisiert.

1.2 Abnahmetechnik

Auf Grund der von HYTTEN (1954) beschriebenen tageszeitlichen Schwankungen im Fettgehalt sollte die Milchabnahme möglichst immer zur gleichen Uhrzeit (16.00) erfolgen. Dieses Schema konnte verständlicherweise nicht immer eingehalten werden, wenn an einem Tag von mehreren Frauen Milch benötigt wurde und deren Wohnorte weit voneinander entfernt lagen. Eine Differenz von +/- 1 Stunde dürfte allerdings keine allzu große Rolle gespielt haben, da am Nachmittag die Kurve der Fettkonzentration sehr flach verläuft (siehe Abb. 9, HYTTEN, 1954).

1.3 Die pH-Messung

Bei der Beurteilung der pH-Werte müssen folgende Störmöglichkeiten berücksichtigt werden:

- Eine stärkere Abweichung der wirklichen Temperatur der Milch von der am Regler eingestellten Temperatur (5°C oder 22°C) könnte wegen der bekannten Temperaturabhängigkeit zu einer Verfälschung des pH-Wertes geführt haben.
- In der vorliegenden Arbeit wurde die pH-Messung häufig in gekühlter Milch vorgenommen. Die daraus resultierende Verschiebung des Dissoziationsausgleichgewichtes der Milchsäure nach links ($\approx$ Abnahme der Dissoziation), könnte die im Vergleich zur Literatur höheren pH-Werte erklären.

- Nach Öffnen der Gläschen konnte aus den durch den Transport durchgeschüttelten Proben CO_2 entweichen (JENNESS, 1967). Daher war bei fortlaufender Messung ein kontinuierliches Ansteigen des pH-Wertes zu beobachten.

1.4 Die Crematokritmessung

Wie sich aus der linearen Korrelation der MilCHFETTKONZENTRATION mit den Crematokritwerten ergibt, kann man mit Hilfe der Crematokritbestimmung auf sehr einfache Weise einen Anhalt über den ungefähren Fettgehalt einer Milchprobe bekommen. Allerdings können beim Zusammengießen von zwei unterschiedlich fetten Proben (z.B. Portion I und II) durch unvollständige Durchmischung Fehler auftreten. Dazu muß erwähnt werden, daß die 2. bzw. letzte Portion jedoch nicht bei allen Frauen zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Anlegen des Kindes abgenommen wurde, sondern dann, wenn das Kind satt war. Dadurch bestünde die Möglichkeit, daß das in der Literatur beschriebene Maximum des Fettgehaltes gegen Ende der Mahlzeit (HYTTEN, 1954, HALL, 1975) vereinzelt noch nicht erreicht wurde. Da aber nach GERBER (HYTTEN, 1954) diese Veränderungen in der Milchzusammensetzung individuell in verschiedenem Ausmaß und mit unterschiedlicher Geschwindigkeit erfolgen, wäre eine Milchabnahme "nach der Stoppuhr" auch sinnlos und würde nur den normalen Stillvorgang stören.

Um den natürlichen Bedingungen der Muttermilchernährung möglichst nahe zu kommen, wurde ebenfalls darauf verzichtet, nach der Mahlzeit vor der jeweiligen Milchabnahme die zuletzt gereichte Brust abzupumpen. HYTTEN (1954) wies in seinen Experimenten nach, daß eine Restmilch enthaltende Brust eine Milch mit höherem Anfangsfettgehalt liefert. Zusätzlich wird bei der üblichen abwechselnden Stilltechnik auch ein geringerer Anstieg des Fettgehaltes beobachtet, da die Milch dieser Brust sich etwa eine Stunde weniger in den Drüsengängen befand. Die dort erfolgende Adsorption ist nach Auffassung von HYTTEN (1954) die Ursache für den Anstieg des Fettgehaltes im Verlauf der Mahlzeit. Es sollte allerdings berücksichtigt werden, daß HYTTEN in seinen Adsorptionsversuchen einen fein-

porigen Schwamm als Modell für die weibliche Brust verwendete. Dadurch blieb aber die sicher wesentlich differenziertere und damit auch unregelmäßigere Struktur der Brust unberücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Experimente können daher nicht ohne weiteres auf die menschliche Brust übertragen werden.

Trotz der erwähnten Störgrößen lassen sich frühere Beobachtungen wie der Anstieg des Fettgehaltes und des pH-Wertes (HYTTEN, 1954; HALL, 1975) durch die vorliegende Untersuchung in gleicher Weise bestätigen. Während der Anstieg des MilCHFettes an dem wesentlich höheren Crematokritwert der Portion II deutlich wird, sind die Änderungen des pH-Wertes auf Grund der relativ großen Standardabweichung nicht sicher verwertbar.

1.5

Lyophilisation

Trotz der zahlreichen Vorteile, die die Lyophilisation durch Reduzierung der Keimzahl und größtmögliche Schonung des Materials bietet, sollte man den Einfluß der Gefrier-trocknung auf die Milchezusammensetzung nicht unterschätzen. So kommt es bei langer Dauer des Gefrierprozesses zu einer Aktivitätszunahme der Lipase in der Milch, während der Trocknungsvorgang eher einen Aktivitätsverlust bewirkt. Dieser wird in noch stärkerem Ausmaß bei hoher Restfeuchtigkeit, nach wiederholter Lyophilisation und bei zu hoher Aufbewahrungstemperatur (37°C) beobachtet. Diese Änderungen der Lipaseaktivität führen dazu, daß Triglyceride und freie FS im Lyophilisat in einem anderen Verhältnis zueinander stehen als in der frischen Milch. In der vorliegenden Arbeit konnte dieser Effekt vernachlässigt werden, da durch die Analyse die einzelnen FS in ihrer Gesamtheit bestimmt werden sollten und ihr prozentuales Vorkommen in freier oder veresterter Form nicht interessierte.

Die Haltbarkeit des Pulvers wird durch Oxidation der ungesättigten FS begrenzt. Der Vorgang wird durch Einwirkung von Licht und Eisen gefördert und kann an der Erniedrigung der Jodzahl des MilCHFettes erkannt werden. Dieses sogenannte Talgigwerden der Probe wird durch Lagerung im Vakuum verhindert.

Durch Oxidation und Hydrolyse unter dem Einfluß von Mikroben und mit Hilfe von Wasser und Nährsubstrat kommt es zum Ranzigwerden der Milch. Dabei werden niedermolekulare FS wie die Myristinsäure in Methylketone umgewandelt, die den typischen ranzigen Geruch hervorrufen. Dieser Vorgang führt zum Absinken der Verseifungszahl (= Maß für den Gehalt an freien und gebundenen FS) und Ansteigen der Säurezahl (= Maß für den Gehalt an freien FS). Bei Lagerung unter normalen Bedingungen wird nach 3 Monaten kein Abfall der niedermolekularen FS (V: unverändert) und nur eine geringe Hydrolyse beobachtet (S: 5,4 → 11,2). Dagegen kann das Talgigwerden der ungesättigten FS nicht verhindert werden. Der Gesamtfettgehalt erfährt durch die Lyophilisation jedoch keine Veränderung.

In der vorliegenden Arbeit fiel bei 13 Proben ein ranziger Geruch auf. In einem dieser Fälle konnte keine Analyse mehr durchgeführt werden. Von den übrigen 12 Proben enthielten 7 im Vergleich zum übrigen Verlauf der Myristinsäure an diesem Tag deutlich geringere Mengen an dieser Fettsäure. Vermutlich kam der Konzentrationsabfall durch die Umwandlung von Myristinsäure in Methylketone zustande. Ausgelöst wurde das Ranzigwerden wahrscheinlich durch die Anwesenheit von Mikroben in den nicht sterilisierten Glasgefäßen, in denen sich die Milchproben während der Lyophilisation befanden. In Verbindung mit einer möglicherweise noch zu hohen Restfeuchtigkeit und dem fast optimalen Nährsubstrat Milch schufen sie die Voraussetzung für das Zustandekommen von Oxidation und Hydrolyse.

2. Zur Auswertung

2.1 Der Gehalt der Muttermilch an Fettsäuren und Fett

2.1.1 Vergleich mit Literaturwerten

In der Mittelwertberechnung der einzelnen Laktationsphasen ging jeweils eine unterschiedliche Anzahl von Frauen ein. Dadurch wäre eine Verfälschung der Verlaufskurven einzelner Parameter eventuell möglich. Allerdings können diese Fehler nicht gravierend gewesen sein, wie der Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen der Literatur zeigt (siehe Anhang Tabelle 9 - 12).

2.1.1.1 Die Fettsäuren

Vergleicht man die vorliegenden Ergebnisse mit den neueren Arbeiten von GUTHRIE (1977) und DROESE (1976), so fällt auf, daß in dieser Studie die kurz- und mittelkettigen Fettsäuren bis $C_{14:0}$ einen größeren Prozentsatz unter den Gesamtfettsäuren einnehmen. Dies beruht zum großen Teil auf dem höheren Gehalt an C_{10} in den analysierten Proben. Von den langkettigen gesättigten Fettsäuren liegt die Stearinsäure gering unter den in der neueren Literatur angegebenen Werten und übertrifft in ihrem Gehalt gleichzeitig die Ergebnisse von INSULL (1959) und READ (1965). Eine gute Übereinstimmung besteht bei den Monoensäuren $C_{14:1}$ und $C_{16:1}$. Für die übrigen ungesättigten Fettsäuren ergab die Analyse bei der Ölsäure ($C_{18:1}$) einen deutlich geringeren und bei der Linol- und Linolensäure einen etwas höheren Anteil an den Gesamtfettsäuren. Es fiel auf, daß der Linolsäuregehalt über allen bisher in der Literatur beschriebenen Werten lag. Wie in vielen Industrienationen hat auch in Deutschland der Verbrauch von Fetten mit hohem Polyensäureanteil (Pflanzenöle, Margarine) stark zugenommen. Nach INSULL (1959) und SÖDERHJELM (1953) führt eine polyensäurereiche Ernährung auch zu einem Anstieg des Polyensäuregehaltes in der Milch. In der vorliegenden Arbeit kann der Einfluß der veränderten Ernährungsgewohnheiten auf das Fettsäuremuster der Milch ebenfalls bestätigt werden. Dagegen ist eine nur leichte Veränderung des täglichen Polyensäureverbrauches, die im Einzelfall durch die meist sehr geringe Variation der Nahrungszusammensetzung verursacht wurde, fast ohne praktische Bedeutung. Weiterhin konnte beobachtet werden, daß der Polyensäuregehalt im Verlauf der Laktation stark anstieg, während DROESE (1976) im Gegensatz dazu eine relative Konstanz beschrieb. Faßt man mehrere Fettsäuren zu einer Gruppe zusammen, so stellt man fest, daß in dieser Studie die Milchproben der transitorischen und reifen Laktationsphase durchschnittlich mehr ungesättigte (vor allem $C_{18:2}$) und dementsprechend weniger gesättigte Fettsäuren enthielten als in der vergleichbaren Arbeit von DROESE (1976). Faßt man die vorliegenden Ergebnisse zusammen, so erkennt man, daß das Fettsäurespektrum erwar-

tungsgemäß am ehesten mit demjenigen übereinstimmt, das INSULL (1959) in der Milch von Müttern bei einer "Diät ad libitum" fand. Der wesentlichste Unterschied besteht in dem geringeren Anteil der selbstsynthetisierten $C_{12}+C_{14}$ -FS bei gleichzeitiger Erhöhung der aus dem Blut stammenden ($C_{16:0}+C_{18:0}+C_{18:1}$) und der vielfach ungesättigten Fettsäuren. Man darf also annehmen, daß die Nahrung der an dieser Studie teilnehmenden Mütter insgesamt weniger Kohlenhydrate enthielt und das verwendete Fett zu einem höheren Prozentsatz pflanzlichen Ursprungs war als bei INSULL (1959).

2.1.1.2 Der Fettgehalt der Milch

In Übereinstimmung mit den in der Literatur angegebenen Werten konnte auch hier ein eindeutiger Anstieg des Fettgehaltes während der Milchreifung beobachtet werden. Es fällt auf, daß der in dieser Studie bestimmte Fettgehalt der Kolostral- und transitorischen Milch über allen von anderen Autoren bisher gemessenen Werten lag. Dieser Beobachtung können mehrere Ursachen zugrunde liegen:

- a) Die Brust wurde nach der letzten Mahlzeit nicht vollständig entleert. Die verbleibende Restmilch kann nach HYTTEN (1954) zu einem hohen Anfangsfettgehalt führen.
- b) Die Bestimmung des Fettgehaltes wurde in den meisten Untersuchungen in gepoolten Frauenmilchproben durchgeführt. Diese können unter Umständen einen größeren Prozentsatz fettarmer Vormilch aufweisen.
- c) Unterschiedliche Bestimmungsmethoden (nach GERBER, STOLDT, NEUSAL, BOSWORTH, NAKAI und LI, ROSE, GOTTLIEB und anderen).
- d) Fett- und kalorienreichere Ernährung der Versuchspersonen dieser Studie (nach INSULL, 1959).

Der von MACY (31), HYTTEN (54) und HALL (76) beobachtete Anstieg des Fettgehaltes während des Stillvorgangs konnte durch die vorliegenden Untersuchungen eindeutig bestätigt werden.

2.2 Die Nahrungsabhängigkeit des FS-Musters

Die Angaben der Versuchspersonen über die tägliche Nahrungsaufnahme müssen als relativ grob bezeichnet werden.

Man kann davon ausgehen, daß "zwischendurch aufgenommene Nahrungsmittel" wie z.B. Süßigkeiten und Getränke (Milch, Obstsäfte) nicht immer notiert wurden.

Eine weitere Ungenauigkeit stellt die Mengenangabe in Portionen dar, deren Gewicht verständlicherweise von Fall zu Fall etwas variiert. Dennoch ließ sich bei Kenntnis dieser teilweise ungenauen Angaben der Einfluß der mütterlichen Ernährung auf die Milchzusammensetzung in typischer Weise darstellen. Allerdings sollte dieser Effekt auch nicht überschätzt werden, da nur in einem Fall zeitweise ein ungewöhnlich starkes Abweichen der nahrungsabhängigen Fettsäuren vom "Normalkollektiv" beobachtet werden konnte. Bei dieser Frau lagen die Werte an zwei Tagen im Bereich der 3-fachen Standardabweichung über bzw. unter dem Mittelwert. Dabei stellt sich jedoch die Frage, ob es bei dem relativ kleinen Kollektiv nicht sinnvoll wäre, nur die Werte des $\pm 1\sigma$ -Bereiches zum "Normalkollektiv zu rechnen. In diesem Fall müßte dem Einfluß der Nahrung auf die Milchzusammensetzung allerdings stärkere Bedeutung beigemessen werden.

Die in dieser Studie beobachteten nahrungsabhängigen Veränderungen des FS-Musters der Milch stimmen mit den Ergebnissen von INSULL (1959) und READ (1965) überein:

Ein hohes Kalorienangebot in Form von Kohlenhydraten bei gleichzeitig geringem Fettgehalt der Nahrung führt zu einer maximalen Eigensynthese in der Brust, die sich im Anstieg der $C_{12:0} + C_{14:0}$ -FS äußert. Dieser wird begleitet von einem Konzentrationsabfall der aus dem Blut, bzw. dem Nahrungsfett stammenden Fettsäuren ($C_{16:0} + C_{18:0} + C_{18:1}$) in der Milch. Gleichsinnige Veränderungen können allerdings auch im Verlauf der Milchreifung beobachtet werden. Um den Einfluß der Nahrung auf diese FS-Gruppen stärker sichtbar zu machen, ist es sinnvoll, für jeden Einzelwert seine Abweichung vom Mittelwert des jeweiligen Laktationsstadiums darzustellen.

INSULL (1959) vermutete, daß nur sehr starke Änderungen in der Nahrungszusammensetzung einen Einfluß auf das Fettsäuremuster der Milch ausüben. Allerdings beruhen seine Ergebnisse auf Beobachtungen an einer einzigen Versuchs-

person, die im Verlauf der Laktation mit verschiedenen zusammengesetzten Nahrungen ernährt wurde. Dadurch, daß INSULL nur den Konzentrationsverlauf der einzelnen FS verfolgte, wurde der Einfluß der Ernährung auf das FS-Muster der Milch durch reifungsbedingte Abläufe überlagert.

In Ergänzung zu der Arbeit von INSULL (1959) konnte in dieser Studie bei Stimulierung der Eigensynthese ein prozentualer Anstieg der Polyensäuren ($C_{18:2} + C_{18:3}$) nachgewiesen werden. Da unter solchen Bedingungen diese Fettsäuren nur vermindert aus Bluttriglyceriden aufgenommen werden, läßt sich dieser Anstieg nur durch eine vermehrte Eigensynthese der Polyensäuren aus in der Brust bereits vorhandenen Vorstufen erklären.

Auf Grund der großen Standardabweichung und Streubreite der nahrungsabhängigen Fettsäuren können die errechneten Mittelwerte nur einen relativ groben Anhalt in Bezug auf die "typische" Zusammensetzung von Frauenmilch darstellen. Bei der Herstellung einer möglichst genau an Humanmilch adaptierten Kuhmilch könnten die vorliegenden Ergebnisse jedoch als Grundlage dienen. Im Hinblick auf die optimale Anpassung der Milchezusammensetzung an die sich entwickelnden Verdauungsfunktionen des Säuglings wäre es wünschenswert, diesen Prozeß durch Erzeugung unterschiedlicher Flaschnahrung nachzuvollziehen. Entsprechend den 3 Laktationsstadien wäre eine Unterteilung in 3 "Milchtypen" sinnvoll, die in ihrer Zusammensetzung die natürliche Reifung der Frauenmilch imitieren. Dabei wäre auf Grund der beschriebenen individuellen Unterschiede weniger der absolute Gehalt als vielmehr der Verlauf der einzelnen Parameter für eine gute Anpassung entscheidend.

2.3

Der pH-Wert

Der während der Laktationsperiode leicht absinkende pH-Wert könnte durch den Abfall der Konzentrationen an Proteinen und Phosphat im Verlauf der Milchreifung erklärt werden, die in der Milch u.a. als wirksame Puffer fungieren. In gleicher Weise könnte auch der leichte Anstieg des pH-Wertes während des Stillvorganges interpretiert werden, da bekanntlich der Proteingehalt der Milch

während der Entleerung der Brust ansteigt (HALL, 1976). Auf Grund der großen Streubreite der Ergebnisse kann diese Theorie jedoch vorerst nicht als gesichert angesehen werden.

2.4 Die Spurenelemente der Muttermilch

2.4.1 Vergleich mit Literaturwerten

Der Vergleich der eigenen Ergebnisse mit den in der Literatur angegebenen Werten macht in manchen Fällen beträchtliche Unterschiede deutlich (siehe Anhang Tabelle 3). Diese beruhen z.T. auf den verschiedenen Verfahren, die zur Analyse angewandt werden. Am Beispiel des Bleis zeigte MARUNA (1976), daß mit Hilfe des von ihm entwickelten Verfahrens der trockenen Veraschung wesentlich höhere Konzentrationen in der Milch nachgewiesen werden konnten, als dies bisher mit der feuchten Veraschung möglich war (s. Tabelle 6).

	Blei ($\mu\text{g/l}$ Muttermilch = ppb)	
	Veraschung	
	feucht	trocken
Mittelwert	37,9	148,6
Standardabweichung	3,6	61,6
Bereich	24-42	42-278

Tabelle 7: Der Einfluß verschiedener Analysenmethoden auf den Bleigehalt der Milch (nach MARUNA, 1976)

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung ergaben Blei-, Mangan-, Kupfer- und Cadmiumkonzentrationen in der Milch, die in ihrer Höhe in etwa mit den Literaturwerten übereinstimmten. Dazu muß allerdings gesagt werden, daß die von den einzelnen Autoren angegebenen Blei- und Manganwerte in einem sehr weiten Bereich streuten. Die Chromkonzentrationen lagen deutlich über den von RENNER angegebenen Werten. Sowohl beim Chrom als auch beim Kupfer und Blei fiel die extrem große Streubreite der Konzentrationen auf, die gegen Ende der Laktation etwas geringer wurde. Die größten Unterschiede bestanden beim Zink, dessen Gehalt in den analysierten Proben nur ca. 1/100 von den in der Literatur angegebenen Werten betrug. Mit Ausnahme des Mangans

waren alle Spurenelemente in der reifen Milch in geringeren Mengen vorhanden als im Kolostrum. Diese Feststellung bezieht sich jedoch nur auf die Durchschnittswerte der einzelnen Laktationsphasen, da der Verlauf der Spurenelemente im Einzelfall sehr stark schwankte. Nur für Zink und Cadmium konnte praktisch bei allen Versuchspersonen eine eindeutig abfallende Tendenz der Werte nachgewiesen werden.

2.4.2 Der Einfluß exogener Faktoren auf die Spurenelemente der Milch

In der Literatur wird immer wieder die auffallend große Variationsbreite der Spurenelemente beschrieben, die durch die Abhängigkeit von Laktationsstadium, Jahreszeit, Ernährung, Verarbeitung und Kontamination hervorgerufen wird.

2.4.2.1 Laktationszeitpunkt

In der Literatur wird von einem erhöhten Gehalt an Kupfer und Zink im Kolostrum und an Mangan in der transitorischen Milch berichtet. Andere Autoren (UNANYAN, 1967) beobachteten nach Frühgeburten eine höhere Kupfer- und Mangankonzentration in der Muttermilch. Dies ließ sich jedoch in der vorliegenden Arbeit an einem vergleichbaren Fall (36. SSW) nicht demonstrieren.

Wie bereits erwähnt wurde, bestätigte sich eine Verarmung der Muttermilch an den meisten Spurenelementen im Verlauf der Reifung.

2.4.2.2 Brustdrüsenerkrankungen

Bei Tieren können Eutererkrankungen mit Konzentrationsänderungen einiger Spurenelemente einhergehen. Überträgt man diese Ergebnisse auf den Menschen, so ließe sich dadurch der auffallend niedrige Zinkgehalt der Milch einer Versuchsperson erklären, die wegen einer Mastitis bereits nach der ersten Probe abgestillt hatte.

2.4.2.3 Kontamination durch Metallteile

Für die z.T. extremen Schwankungen, die bei einigen Spurenelementen beobachtet wurden (vor allem Chrom und Kupfer) sind möglicherweise auch methodische Unzulänglichkeiten verantwortlich zu machen. ROGERS und PONT (1965, zit.in

RENNER, 1974) haben darauf hingewiesen, daß z.B. durch den Kontakt mit Metallteilen der Kupfergehalt der Milch wesentlich erhöht werden kann. Dieser Effekt kommt wahrscheinlich durch die Löslichkeit der Kupferionen in flüssiger Milch zustande. Daher dürfte die Verwendung eines Metall-Löffels beim Umfüllen des lyophilisierten Milchpulvers keinen Einfluß auf die Kupferkonzentration der Milch ausgeübt haben. Nach Wiederauflösung des Pulvers in dem Labor in Ludwigsburg ist eine derartige Fehlerquelle jedoch nicht sicher auszuschließen.

2.4.2.4 Verarbeitung

Von NASSI (1976) werden quantitative und qualitative Unterschiede beim Vergleich des Zinkgehaltes frischer Milch mit dem von Milchtrockenpulver beschrieben. In unbehandelter Milch liegt Zink hauptsächlich als Casein-abhängiges Element vor, während der übrige Teil aus einer Immunglobulinfraktion besteht. Die freie Form kommt nur in Spuren vor. Im Milchpulver dagegen ist Zink in wesentlich niedrigeren Konzentrationen vorhanden und liegt außerdem vorwiegend in freier oder proteinunabhängiger Form vor. Dabei fehlt die für natürliche Milch spezifische Immunglobulinfraktion. Diese Ergebnisse könnten den auffallend niedrigen Zinkgehalt der lyophilisierten Milchproben der vorliegenden Studie erklären.

Ein hoher Gehalt an Kupfer, das überwiegend an die Fettkügelchenmembran gebunden ist, kann auf oxidativen Mängeln der verwendeten Milch beruhen (JENNESS, 1967).

2.4.2.5 Aufnahme mit der Nahrung und der Atemluft

Über eine erhöhte Aufnahme mit der Nahrung kann der Gehalt der Milch an Mangan und Cadmium erheblich gesteigert werden, während dies bei Zink, Kupfer und Blei nur in geringerem Ausmaß möglich ist. Dazu kommt der regional unterschiedliche Gehalt des Trinkwassers und der Pflanzen an den einzelnen Spurenelementen, der - unter anderem - auf der uneinheitlichen Zusammensetzung der Erdkruste beruht. Zusätzlich ist in Industriegebieten und Großstädten die Anreicherung der Atemluft und der Nahrung mit fakultativ toxischen Spurenelementen wie z.B. Blei und Cadmium für die z.T. hohen Konzentrationen dieser Substanzen in der

Muttermilch verantwortlich zu machen.

2.4.2.5.1 Blei

Durch seine Versuche wies BLANC (1971, zit. in RENNER, 1974) nach, daß die Fütterung von Kühen mit neben der Fahrbahn wachsendem Heu zu einem Anstieg der Bleikonzentration im Blut führt. Damit einher ging ein ebenfalls steigender Bleigehalt der Milch, der allerdings etwas geringer ausgeprägt war (Anstieg von 20 µg/l auf 40-70 µg/l Milch), wie aus Abb. 56 hervorgeht.

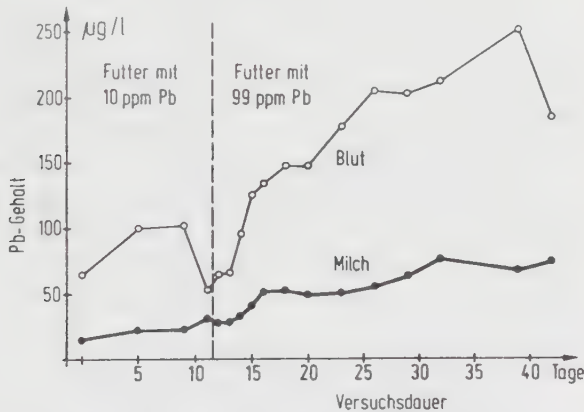


Abb. 56: Bleigehalt in der Milch und im Blut von Milchtieren bei Verabreichung eines kontaminierten Futters (nach BLANC et.al. 1971, zit.von RENNER, 1974)

Überträgt man diese Ergebnisse auf den Menschen, kann man aus den in der vorliegenden Studie gemessenen Bleikonzentrationen von durchschnittlich 43-70 µg/l nicht auf eine ähnlich hohe Bleiaufnahme z.B. durch kontaminierte Lebensmittel schließen, da das Verteilungsvolumen des Bleis im Menschen geringer ist als bei der Kuh. Im Einzelfall konnten zwar Konzentrationen bis zu 420 µg/l gemessen werden, jedoch betrug zu diesem Laktationszeitpunkt das Milchvolumen erst 200 ml/Tag, so daß die vom Säugling aufgenommene Bleimenge mit 84 µg/Tag noch unter dem zulässigen Grenzwert lag, der aus der für Ratten toxischen Dosis berechnet wird (25-50 µg/kg KG). Bei dem damaligen Gewicht des Säuglings von 4200 g läge demnach der Grenzwert bei einer täglichen Bleiaufnahme von 105-210 µg.

Die von der FAO/WHO zugelassene Belastung durch Blei in Lebensmitteln beträgt jedoch 350 µg/Tag und läge damit bereits in einem für den Säugling toxischen Bereich.

2.4.2.5.2 Cadmium

Cadmium, das als weiteres toxisches Spurenelement in der Milch vorkommt, wird mit der Entstehung von Herzerkrankungen in Zusammenhang gebracht.

Die Hauptkontaminationsquelle stellen für den Menschen die Nahrungsmittel dar. Beispielsweise gelangen 15-50% der täglichen Cadmiumaufnahme über die Kartoffel in den menschlichen Organismus. Cadmium wird vorwiegend durch Fungizide und Düngemittel in der Natur verbreitet.

Der Gehalt der Milch wird von CONELIUSSEN (1972, zit. in RENNER, 1974) und MURTHY (1968) mit durchschnittlich 25 µg/l angegeben. Bei einer Resorptionsrate von 5% und einer Toleranzgrenze von 3 mg/Tag wird der Cadmiumgehalt der Milch von diesen Autoren daher als verhältnismäßig unbedeutend eingestuft.

Die vorliegenden Ergebnisse ergaben den höchsten Durchschnittswert im Kolostrum mit 17,7 µg/l. Die im Einzelfall gemessenen Maximalwerte bis zu 51 µg/l lagen nach der obigen Berechnung also ebenso wie die Mittelwerte in einem noch nicht toxischen Bereich.

MARUNA (1976) wies einen stark erhöhten Cadmiumgehalt in der Milch von Raucherinnen nach, wie eindeutig aus Tabelle 8 hervorgeht.

	Cadmium (µg/l) Muttermilch	
	Raucher	Nichtraucher
Mittelwert	63	38
Standardabweichung	21	6
Bereich	46-95	28-50

Tabelle 8: Vergleich des Cadmiumgehaltes der Muttermilch bei Rauchern und Nichtrauchern (nach MARUNA, 1976)

2.4.3 Zur Frage der Bedarfsdeckung des Säuglings mit Spurenelementen

In der Literatur finden sich folgende Angaben über den

Tagesbedarf des Säuglings an den wichtigsten Spurenelementen, die in Tabelle 9 zusammengefaßt sind.

Spurenelement	Autoren		
	Renner	Geigy-Tabellen	Hambidge
Zink	2 mg/d	0,2-0,3 mg/d/kg KG	3 mg/d
Mangan	2 mg/d	0,04-0,14 "	0,1 mg/d/kg KG
Kupfer	800 µg/d	40-140 µg/d/kg KG	80 µg/d/kg KG

Tabelle 9: Der Tagesbedarf des Menschen an den 3 wichtigsten Spurenelementen

Aus den Angaben über die durchschnittliche Konzentration dieser Spurenelemente in den untersuchten Milchproben und dem mittleren Milchvolumen läßt sich die vom Säugling täglich aufgenommene Menge an Zink, Mangan und Kupfer berechnen:

(mg/d) Spurenelement	Laktationsstadium		
	Kolostrum	transit. Milch	reife Milch
Zink	0,011	0,018	0,020
Mangan	0,008	0,014	0,021
Kupfer	0,106	0,211	0,219

Tabelle 10: Die durchschnittlich pro Tag in Frauenmilch enthaltenen Mengen an den 3 wichtigsten Spurenelementen während der Laktation

Vergleicht man diese Werte mit den in der Literatur angegebenen Mindestmengen, so wäre eine Deckung des täglichen Bedarfs durch eine alleinige Ernährung mit Muttermilch nicht gewährleistet. Dennoch ist ein Zusatz zur Nahrung nicht erforderlich, da die Leber des Säuglings in den ersten Lebensmonaten große Depots an Zink, Mangan und Kupfer enthält, die eine zu geringe Aufnahme mit der Muttermilch ausgleichen können. Allerdings sollte man berücksichtigen, daß eine Ernährung mit der kupferärmeren Kuhmilch zu einem rascheren Abbau der Kupferreserven in den Leberdepots führt (RENNER, 1974). Ob der viel geringere Zinkgehalt des Milchpulvers gegenüber Frauenmilch ebenfalls durch diese Leberdepots gedeckt werden kann, bedarf noch der Abklärung. Durch den Versuch, den höheren Mineralstoffgehalt der Kuhmilch durch verschiedene technologische Verfahren (Umkehrosmose, Ultrafiltration, Elektrodialyse) an den der Humanmilch anzugleichen, ergeben sich jedoch auch Veränderungen bei den Spurenelementen: Es wird ein

verminderter Anteil an Zink und Mangan beobachtet, während der Kupfergehalt annähernd konstant bleibt.

Da sich mit der Zeit sämtliche Reserven in der Leber erschöpfen, ist die rechtzeitige Gabe von Nahrungsmitteln erforderlich, die diese Spurenelemente in ausreichender Menge enthalten. Geschieht dies nicht, so entwickeln sich bald charakteristische Mangelerkrankungen, da viele Spurenelemente z.B. als Bausteine für Enzyme und Hormone unentbehrlich sind (Kupfer, Zink, Mangan). Auch Chrom wird seit einiger Zeit als bedeutender Co-Faktor für Insulin an insulinempfindlichen Zellmembranen angesehen (HAMBIDGE, 1977).

Aus all diesen Gründen ist es notwendig, die Nahrung des Säuglings rechtzeitig durch Getreideprodukte (Hafer-, Roggen-, Weizenbrei) zu ergänzen, die diese Spurenelemente in großen Mengen enthalten. Im Rahmen der Bedarfsdeckung an den wichtigsten Spurenelementen erweist sich auch die zusätzliche Gabe von Leber (reich an Kupfer und Zink), Rindfleisch (zinkhaltig) und Gemüse (manganreich) als sinnvoll.

Faßt man alle Ergebnisse zusammen, so kommt man zu dem Schluß, daß dem Säugling durch die extremen Schwankungen im Gehalt der einzelnen Spurenelemente von Tag zu Tag variierende Mengen angeboten werden. Es erscheint daher auch unmöglich, für die Konzentration dieser Spurenelemente in der Muttermilch eine physiologische Norm anzugeben, die als Grundlage für die Anpassung von Kuhmilch dienen könnte. Dies wäre auch vollkommen überflüssig, da - wie bereits erwähnt -, die Deckung des Bedarfs an Spurenelementen durch die Leberdepots in den ersten Monaten in jedem Fall gesichert ist.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es, aufzuzeigen, inwiefern individuell auftretende Schwankungen in der Zusammensetzung der Muttermilch auf der zunehmenden Reifung beruhen und bis zu welchem Ausmaß ein Einfluß der Nahrung berücksichtigt werden muß. In diesem Zusammenhang erschien es sinnvoll, die Analyse nicht wie in früheren Arbeiten an gepoolter Frauenmilch, sondern in Individualproben vorzunehmen. Zu diesem Zweck wurde die Milch von 19 stillenden Müttern an jeweils 9 Tagen während der Laktation abgepumpt und auf ihren Gehalt an Fett, Fettsäuren, Spurenelementen sowie ihren pH-Wert hin untersucht. Um auch Veränderungen der Milchezusammensetzung im Verlauf des Stillvorganges zu erfassen, wurde ein Teil der Probe vor und einer nach dem Anlegen des Säuglings abgepumpt. Alle Proben wurden unmittelbar nach der Milchabnahme gefriergetrocknet. Dieses Verfahren der Lyophilisation hatte neben der Verminderung der Keimvermehrung den Vorteil, daß die Milchproben in diesem Zustand sehr lange aufbewahrt werden konnten, ohne daß das Material durch den Vorgang selbst geschädigt wurde. Von Nachteil war, daß ein Talgig- und Ranzigwerden der Proben nicht immer verhindert werden konnte und daß durch diese Methode mit einer gewissen Aktivitätsveränderung der Lipase in der Milch gerechnet werden muß. Das Ranzigwerden, das auf einer Umwandlung niedermolekularer Fettsäuren wie der Myristinsäure in Methylketone beruht, konnte an einigen wenigen Proben an Hand des Abfalls dieser Fettsäuren beobachtet werden. Zusätzlich zur üblichen Fettbestimmung wurde der Fettgehalt noch durch die einfachere Methode der "Crematokritbestimmung" mittels Ultrazentrifuge ermittelt. Ein Vergleich ergab eine erstaunlich gute Korrelation ($r = 0,91$) zwischen den mit den verschiedenen Verfahren gewonnenen Werten. Es wäre daher wünschenswert, diese Methode der "Crematokritmessung" für die routinemäßige Fettbestimmung in Milch noch weiter zu entwickeln und die aufwendigeren Laborverfahren ganz speziellen Fragestellungen vorzubehalten.

Die einzelnen Fettsäuren wurden mit Hilfe der Gaschromatographie identifiziert und quantifiziert. Die Analyse ergab

ein Fettsäurespektrum, dessen Zusammensetzung in etwa mit neueren Literaturwerten (z.B. DROESE, 1976) übereinstimmte. Im Vergleich zu früheren Arbeiten zeigte sich jedoch, daß die von der Brust selbst synthetisierten Fettsäuren ($C_{12:0}+C_{14:0}$) in geringeren Mengen vorhanden waren, während die aus dem Blut aufgenommenen Fettsäuren ($C_{16:0}+C_{18:0}+C_{18:1}$) einen höheren Prozentsatz unter den Gesamtfettsäuren einnahmen. Am auffälligsten jedoch war der deutlich größere Anteil der vielfach ungesättigten Fettsäuren an den Gesamtfettsäuren in der vorliegenden Arbeit, die in der Hauptsache auf dem höheren Linolsäuregehalt der Milch beruhte. Die beschriebenen Änderungen im Fettsäurespektrum sind auf den in den letzten Jahren stark zunehmenden Polyensäuregehalt des Nahrungsfettes bei insgesamt kohlenhydratärmerer Ernährung zurückzuführen. Unter diesen Bedingungen wird in der Brust die Eigensynthese von Fettsäuren immer mehr unterdrückt, während aus dem Blut gleichzeitig vermehrt Fettsäuren aufgenommen werden. Diese Beobachtung konnte in dieser Studie u.a. auch dadurch bestätigt werden, daß die beiden Fettsäuregruppen stets ein zueinander umgekehrt proportionales Verhalten aufwiesen. Welche Fettsäuren nun vermehrt aus dem Blut aufgenommen wurden, war bei Kaloriengleichgewicht in erster Linie von der Art und damit von der Zusammensetzung des Nahrungsfettes abhängig. In gleicher Weise wie bei den Durchschnittswerten konnte auch in den Individualproben eine solche Nahrungsabhängigkeit nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu den Ergebnissen zahlreicher anderer Autoren führte in dieser Studie ein höherer Polyensäuregehalt der Nahrung nur in Einzelfällen auch zu einem Anstieg der vielfach ungesättigten Fettsäuren in der Milch. Im Verlauf der Laktation kam es innerhalb von zwei Monaten zu einem Anstieg des durchschnittlichen Fettgehaltes, der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren sowie der Polyensäuren, während die Monoensäuren (mit Ausnahme von $C_{14:1}$!) und die langkettigen gesättigten Fettsäuren ($C_{16:0}$, $C_{18:0}$) gleichzeitig abfielen. Dieses Verhalten der Fettsäuren kann z.T. damit erklärt werden, daß mit zunehmender Milchreife die Synthesevorgänge in der Brust an Intensität zunehmen. Außerdem wird durch

diese Zusammensetzung eine zu jedem Zeitpunkt der Laktation vollkommene Anpassung der Muttermilch an die Verdauungsfunktionen des Kindes gewährleistet.

Im Verlauf des einzelnen Stillvorganges konnte ein deutlicher Anstieg im Fettgehalt der Milch beobachtet werden, während der pH-Wert gegen Ende einer Mahlzeit im Durchschnitt nur gering über dem Ausgangswert lag. Mit zunehmender Milchreifung kam es dagegen zu einem leichten Abfall des pH-Wertes, der mit der verminderten Pufferkapazität der reifen Milch auf Grund des erniedrigten Protein- und Phosphatgehaltes zu diesem Laktationszeitpunkt in Zusammenhang stehen könnte.

Von den untersuchten Spurenelementen (Cadmium, Chrom, Kupfer, Mangan, Blei, Zink) zeigten nur wenige einen eindeutigen Verlauf während der Laktation: Bei Zink und Cadmium zeigte sich ein deutliches Absinken der Werte, während Mangan gleichzeitig auf höhere Konzentrationen anstieg. Der Zinkgehalt der untersuchten Proben betrug stets nur ca. 1/100 der sogenannten Normalwerte. Da ein ursächlicher Zusammenhang mit der Lyophilisierung der Milch vermutet werden muß, besteht daher bei ausschließlicher Verwendung von Milchpulver in der Säuglingsernährung die Gefahr eines Zinkmangels.

Weitere Einflußmöglichkeiten auf den Gehalt der Milch an Spurenelementen waren durch den Laktationszeitpunkt, Brustdrüsenerkrankungen (Zn), Kontamination durch Metallteile (Cu, Cr), Aufnahme mit der Nahrung (Pb, Cd) und oxidative Mängel der Milch (Cu) gegeben.

Der Verdacht einer chronischen Intoxikation des Säuglings mit Blei und Cadmium durch eine zu hohe Aufnahme dieser toxischen Substanzen mit der Muttermilch konnte nicht erhärtet werden. Die für die Entwicklung des Kindes wesentlichen Spurenelemente Zink, Mangan, Kupfer, waren in den untersuchten Proben in Mengen enthalten, die den Bedarf des Säuglings bei alleiniger Milchernährung nicht vollständig decken könnten. Während jedoch in den ersten Lebensmonaten dieser Mangel durch die großen Leberdepots des Kindes leicht ausgeglichen werden kann, ist später eine Ergänzung der Nahrung durch Fleisch-, Gemüse- und

Getreideprodukte zur Vermeidung von Mangelercheinungen erforderlich.

Faßt man die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen, so kommt man zu dem Schluß, daß im Hinblick auf die optimale Anpassung der Muttermilch an die sich entwickelnden Verdauungsfunktionen des Säuglings, die Erzeugung einer Säuglingsmilchnahrung wünschenswert wäre, die sich in ihrer Zusammensetzung an das Fettsäurespektrum und den Zinkgehalt der Humanmilch adaptiert. Doch sollte man sich selbst bei vollkommener Identität der Zusammensetzung immer bewußt sein, daß diese Art der Ernährung stets eine künstliche sein wird, die daher zwar die physischen, nicht jedoch die seelischen Bedürfnisse eines Säuglings vollkommen zu stillen vermag.

1. Literaturwerte und eigene Ergebnisse

	C ₈			C ₁₀			C ₁₂			C _{14:0}			C _{16:0}			C _{18:0}			C ₂₀			C ₂₂		
Autor	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Guthrie (1977)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,8	-	-	5,2	-	-	22,5	-	-	8,7	-	-	-	-	-	-
Droese (1975)	0,1	0,1	0,1	0,4	1,1	1,2	2,3	5,0	4,6	5,3	6,3	6,4	23,6	21,9	23,4	8,0	8,5	8,6	0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,3
Widdowson(1974)	-	-	-	-	-	1,0	-	-	4,8	-	-	6,2	-	-	23,7	-	-	6,7	-	-	-	-	-	-
György (1971)	-	-	0,1	-	-	0,8	-	-	4,7	-	-	7,9	-	-	26,7	-	-	8,3	-	-	-	-	-	-
Underwood(1970)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	-	-	9,0	-	-	39,2	-	-	5,3	-	-	-	-	-	-
Glass (1967)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1	-	-	5,1	-	-	20,2	-	-	5,9	-	-	-	-	-	-
Read (1965)	-	-	-	-	-	-	2,5	-	5,8	5,7	-	7,0	26,1	-	24,0	5,8	-	7,1	-	-	-	-	-	-
Kramer (1965)	-	-	-	-	-	0,8	-	-	4,0	-	-	6,2	-	-	26,9	-	-	6,9	-	-	-	-	-	-
Insull (1959)	-	0,25	0,29	-	1,81	1,4	-	7,0	6,6	-	8,8	8,2	-	21,0	20,7	-	7,2	7,5	-	1,2	1,4	-	-	-
Macy (1953)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,5	-	-	8,5	-	-	23,2	-	-	6,9	-	-	-	-	-	-
Brown (1946)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,4	-	-	6,7	-	-	21,0	-	-	6,8	-	-	-	-	-	-
Baldwin (1944)	0,1	-	0,3	0,9	-	2,2	2,6	-	5,5	4,9	-	8,5	27,8	-	23,2	7,7	-	6,9	2,7	-	1,1	-	-	-
Hilditch (1943)	-	-	-	-	-	1,7	-	5,1	7,0	-	8,1	7,6	-	-	22,5	22,4	-	8,3	9,0	-	1,0	0,9	-	-
Eigene Ergebnisse	0,10	0,12	0,17	9,7	1,58	2,13	2,63	4,28	5,13	5,98	6,41	6,65	25,2	23,4	22,4	7,67	7,55	8,04	0,41	0,23	-	0,19	0,23	-

Tabelle 11: Der Durchschnittsgehalt der Milch an gesättigten Fettsäuren in den 3 Laktationsstadien (I: Kolostrum; II: transit. Milch; III: reife Milch) und deren Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Werten in % der Gesamtfettsäuren

Autor	C _{14:1}			C _{16:1}			C _{18:1}			C _{18:2}			C _{18:3}			Unesättigte FS			Gesättigte FS		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Guthrie (1977)	-	-	-	-	-	4,1	-	-	39,5	-	-	14,4	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-
Dreese (1975)	0,5	0,5	0,7	3,9	3,7	3,7	36,2	34,1	33,3	10,8	11,6	12,0	2,2	2,0	1,8	57,2	54,3	52,9	42,8	45,7	47,1
Widdowson(1974)	-	-	-	-	-	4,6	-	-	37,4	-	-	9,0	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-
György (1971)	-	-	0,3	-	-	3,4	-	-	37,4	-	-	10,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Underwood(1970)	-	-	-	-	-	2,5	-	-	32,0	-	-	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glass (1967)	-	-	-	-	-	5,7	-	-	46,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Read (1965)	-	-	-	5,4	-	2,0	42,1	-	39,6	9,0	-	11,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kramer (1965)	-	-	-	-	-	5,0	-	-	40,4	-	-	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insull (1959)	-	0-0,3	0,2	-	2,2	2,7	-	35,7	36,0	-	6,4	8,0	-	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-
Macy (1953)	-	-	-	-	-	3,0	-	-	36,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brown (1946)	-	-	-	-	-	2,7	-	-	39,1	-	-	10,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baldwin (1944)	0,2	-	0,6	2,9	-	3,0	37,1	-	36,5	6,2	-	7,8	0,3	-	0,4	53,0	-	51,8	47,0	-	48,2
Hilditch (1943)	-	1,3	0,5	-	3,1	3,7	-	36,4	36,6	-	7,9	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eigene Ergebnisse	0,41	0,48	0,58	4,33	4,35	4,27	36,4	34,5	33,0	13,1	13,9	14,8	2,8	2,7	2,3	57,0	56,1	54,9	43,0	43,9	45,

Tabelle 12: Der Durchschnittsgehalt der Milch an ungesättigten Fettsäuren in den 3 Laktationsstadien (I: Kolostrum; II: transit. Milch; III reife Milch) und deren Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Werten in % der Gesamtfettsäuren

	Fett (g%)		
	I	II	III
Autor			
Guthrie (1977)	-	-	3,1
Hambraeus (1977)	-	-	3,8
Droese (1975)	1,87	2,82	3,45
György (1971)	-	-	4,5
Underwood (1970)	-	-	2,84
Read (1965)	2,33	-	-
Tarjan (1965)	2,9	3,3	4,0
Insull (1959)	-	-	3,5
Lindemann (1957)	-	-	3,8
Adam (1954)	-	-	3,4
Hytten (1954)	-	3,17	-
Macy (1949)	2,95	3,52	4,54
Baldwin (1944)	2,3	-	3,2
Elsdon (1928)	2,86	3,58	3,44
Eigene Ergebnisse	3,50	3,80	4,27

Tabelle 13: Der durchschnittliche Fettgehalt der Milch in den 3 Laktationsstadien (I: Kolostrum; II: transit. Milch; III: reife Milch) und dessen Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Werten

Autor	Cadmium(ppb)			Blei(ppb)			Mangan(ppb)			Chrom(ppb)			Kupfer(ppb)			Zink(ppb)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Macy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5590	3820	1180
Renner	-	-	20	-	Sp.	-280	-	-	30	-	-	40	-	-	420	-	-	2510
Murthy	-	-	19	-	-	12	-	-	120	-	-	-	-	-	240	-	-	1340
Hambridge	23,5	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20000	3000	2000
Ammon	-	-	-	-	-	-	-	-	7,0	-	-	-	-	-	300-700	-	1400-7400	-
Gurtovoi	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	600
Archibald	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4400
Kleinbaum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1340	1040	510	-	-	-
McLeod	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ozoli	-	-	-	-	-	-	22	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Medvedeva	-	-	-	-	-	-	-	-	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maruna	-	-	43	-	-	148,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Noirfalise	-	-	-	-	-	277	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dillon	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinkerton	-	-	11-27	-	-	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lamm	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lamm & Rosen	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eigene Ergebnisse	17,7	14,9	14,3	70,3	51,9	43,4	31,9	31,1	35,0	73,8	72,0	73,6	430,7	486,7	368,4	44,7	40,8	33,9

Tabelle 14: Der Durchschnittsgehalt der Milch an Spurenelementen in den 3 Laktationsstadien (I. Kolostrum; II: transit. Milch; III: reife Milch) und dessen Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Werten

2. ABKÜRZUNGEN

C _n	: Fettsäure mit einer Kettenlänge aus n Kohlenstoffatomen
C ₄	: Buttersäure
C ₆	: Capronsäure
C ₈	: Caprylsäure
C ₁₀	: Caprinsäure
C ₁₂	: Laurinsäure
C _{14:0}	: Myristinsäure
C _{14:1}	: Myristoleinsäure
C _{16:0}	: Palmitinsäure
C _{16:1}	: Palmitoleinsäure
C _{18:0}	: Stearinsäure
C _{18:1}	: Ölsäure
C _{18:2}	: Linolsäure
C _{18:3}	: Linolensäure
C _{20:0}	: Arachinsäure
C _{22:0}	: Behensäure
FS	: Fettsäuren
TG	: Triglyceride
P/S	: Verhältnis der vielfach ungesättigten (= polyunsaturated) zu den gesättigten (= saturated) Fettsäuren
Cd	: Cadmium
Cr	: Chrom
Cu	: Kupfer
Mn	: Mangan
Pb	: Blei
Zn	: Zink
L.T.	: Laktationstag
T.p.p.	: Tag post partum
V.P.	: Versuchsperson
SSW.	: Schwangerschaftswoche
ppb	: µg/l
n	: Anzahl der Probanden, bzw. der Tage
min.	: Minute
d	: Tag
V	: Verseifungszahl
S	: Säurezahl
KG	: Körpergewicht
r	: Korrelationskoeffizient
$\bar{x}$	: Mittelwert
6	: Standardabweichung

3. Korrelationen

3.1 x = Kohlenhydratgehalt der Nahrung (g)

y = Konzentration der C_{12:0}+C_{14:0}-Fettsäuren
(./. der Gesamtfettsäuren)

Wertepaare:	x	y
	135,5	6,1
	179,4	7,0
	201,7	6,5
	202,5	6,4
	204,5	7,6
	205,8	9,9
	232,7	10,8
	355,7	9,5
	185,9	9,6
	201,3	9,4
	115,6	5,0
	101,0	4,75
	97,6	5,7
	146,9	6,0
	256,5	7,9
	201,0	10,2
	176,4	15,4
	137,7	11,35
	169,3	12,3
	227,3	8,75
	277,3	8,85
	370,5	10,7
	331,4	11,25
	345,7	12,4
	312,0	13,9
	297,6	10,4
	338,7	11,35
	268,4	10,85
	382,3	14,35
	331,4	19,55
	364,3	17,35
	204,1	9,95
	306,3	14,45
	291,3	10,5

n = 34
SLOPE = 0,026
INTCP = 3,78
r = 0,83

3.2 x = Kohlenhydratgehalt der Nahrung (g)

y = Konzentration der $C_{16:0} + C_{18:0} + C_{18:1}$ -Fettsäuren
(./. der Gesamtfettsäuren)

Wertepaare:

x	y
135,5	74,6
179,4	74,0
201,7	73,7
202,5	74,0
204,5	70,6
205,8	70,0
232,7	66,3
355,7	64,9
185,9	64,0
201,3	63,0
112,6	77,5
101,0	77,75
97,6	75,5
146,9	71,8
256,5	71,0
201,0	71,15
176,4	65,9
137,7	66,2
169,3	68,8
227,3	72,65
277,3	71,2
370,5	66,5
331,4	65,9
345,7	61,1
312,0	60,4
297,6	65,7
338,7	65,15
268,4	63,3
382,3	58,95
331,4	58,35
364,3	55,25
204,1	61,0
306,3	55,7
291,3	51,05

n = 34

SLOPE = -0,055

INTCP = 79,9

r = -0,69

3.3 x = Konzentration der $C_{12:0}+C_{14:0}$ -Fettsäuren
(./. der Gesamtfettsäuren)

y = Konzentration der $C_{16:0}+C_{18:0}$ -Fettsäuren
(./. der Gesamtfettsäuren)

Wertepaare:

x	y
6,1	74,6
7,0	74,0
6,5	73,7
6,4	74,0
7,6	70,6
9,9	70,0
10,8	66,3
9,5	64,9
9,6	64,0
9,4	63,0
5,0	77,5
4,75	77,75
5,7	75,5
6,0	71,8
7,9	71,0
10,2	71,15
15,4	65,9
11,35	66,2
12,3	68,8
8,75	72,65
8,85	71,2
10,7	66,5
11,25	65,9
12,4	61,1
13,9	60,4
10,4	65,7
11,35	65,15
10,85	63,3
14,35	58,95
19,55	58,35
17,35	55,25
9,95	61,0
14,45	55,7
10,5	51,05

n = 34
SLOPE = -1,51
INTCP = 82,26
r = -0,86

3.4 x = Fettgehalt in g%(Frischmilch)

y = Crematokrit in %

Wertepaare:

x	y	x	y	x	y	x	y
2,24	3,11	3,72	5,43	4,32	5,55	2,93	5,14
2,48	4,35	4,76	6,71	2,71	4,05	3,96	6,21
3,62	5,46	2,23	3,64	3,48	4,63	3,05	6,48
2,23	3,63	3,47	5,67	2,40	3,87	7,85	11,45
3,31	5,88	2,72	3,87	4,26	7,53	5,09	8,18
2,06	3,25	3,18	4,44	6,03	10,10	4,20	6,65
5,36	7,50	2,18	3,78	3,78	6,18	3,90	6,53
4,21	6,00	4,18	7,14	7,27	12,36	3,51	6,23
3,25	4,60	4,22	6,12	5,35	6,03	3,61	5,78
4,45	6,59	2,66	3,81	4,28	6,25	5,74	8,69
4,34	6,29	2,71	4,10	2,56	3,69		
4,94	4,94	2,97	5,22	2,86	3,90		
3,23	7,78	3,31	4,94	3,22	3,76		
7,10	9,56	2,90	4,95	4,22	5,50		
4,83	9,59	2,56	4,51	4,26	5,60		
3,78	5,08	2,70	5,58	3,90	5,92		
4,78	6,23	3,52	5,45	3,92	6,48		
3,79	5,76	3,39	4,78	5,44	7,59		
2,71	3,37	1,95	3,68	5,16	7,09		
3,29	5,00	3,69	5,77	5,98	8,56		
3,90	6,68	4,65	7,57	4,07	6,59		
3,34	5,58	2,68	4,86	3,83	5,64		
3,73	6,30	3,27	5,44	3,75	6,21		
4,68	7,10	1,81	1,86	4,72	7,44		
6,09	8,88	2,23	4,38	4,92	7,30		
4,44	8,37	2,77	3,81	2,21	11,09		
3,27	4,81	3,44	5,47	3,05	4,25		
4,98	5,68	1,65	2,96	1,61	2,94		
4,03	7,07	2,72	3,87	2,30	4,11		
3,98	6,36	3,10	4,99	2,08	3,73		
5,06	7,60	3,98	6,84	2,55	4,47		
4,60	6,58	4,23	6,90	2,85	4,06		
6,36	9,53	3,43	5,68	4,01	6,73		
5,81	9,12	2,56	4,54	3,39	4,80		
6,19	9,70	3,13	6,09	2,82	3,90		
4,36	7,16	3,56	6,65	4,00	5,93		

n = 119

SLOPE = 1,31

INTCP = 0,94

r = 0,83

3.5 x = Fettgehalt der Nahrung (g)

y = Fettgehalt der Milch (g%)

Wertepaare:

x	y
43,45	3,25
49,99	4,45
59,98	4,34
58,53	4,94
111,26	3,23
116,52	7,10
108,78	4,83
86,51	3,78
95,08	4,78
63,41	3,79
77,58	2,71
80,16	3,29
69,78	3,90
73,59	3,34
94,64	3,73
111,47	4,68
126,54	6,09
107,54	4,44
112,37	3,27
76,97	4,98
97,25	4,03
92,18	3,98
109,24	5,06
66,58	4,60
73,33	6,36
103,04	5,81
106,64	2,24
93,78	2,48
91,68	3,62
122,25	2,23
134,22	3,31
100,36	2,06
154,78	5,36
140,12	4,21

$$n = 34$$

$$\text{SLOPE} = 0,004$$

$$\text{INTCP} = 3,70$$

$$r = 0,097$$

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1. ADAM, A.: Ernährung (Nahrungsbestandteile u. praktische Grundlagen der Ernährung)
I. Milch
In: J. Brock, Biologische Daten für den Kinderarzt I.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg S. 435-459 (1954)
2. AMMON, R.: Ernährungsphysiologische Aspekte des Milchverzehrs
In: Die Bedeutung der Milch für die Gesundheit des Menschen
Deutsche Gesellschaft für Ernährung, S. 15-16 (1968)
3. ANNISON, E.F., The oxidation and utilization of palmitate, stearate, oleate and acatate
LINZELL, J.L. by the mammary gland of the fed goat
et al. in relation to their overall metabolism, and the role of plasma phospholipids and neutral lipids in milk-fat synthesis
Biochem. Journal 102: S. 637-647 (1967)
4. ARCHIBALD, Trace elements in milk: A review. Part II
J.G.: Dairy Sci. Abstr., 20: S. 801-804 (1958)
5. BALDWIN, A.R., Component fatty acids of early and
LONGENECKER; mature human milk fat
H.E.: J. Biolog. Chem. 154: S. 255-265 (1944)
6. BANKS, W.; Effect of feeding fat to dairy cows
CLAPPERTON; receiwing a fat-deficient basal diet.
J.L.; I. Milk yield and composition
FERRIE, M.E.; Journal od Daira Research 43:
WILSON, A.G.: S. 213-218 (1976)
7. BANKS, W.; Effect of feeding fat to dairy cows
CLAPPERTON, receiwing a fat-deficient basal diet.
J.L.; II. Fatty acid composition of milk fat
FERRIE; M.E.: Journal of Dairy Research 43:
S. 219-227 (1976)
8. BARGMANN, W.; Ober die Morphologie der Milchsekretion
KNOOP, A.: Z. Zellforsch. Mikrosk. Anatomie 49:
S. 344-388 (1959)
9. BARNES, L.A.; Calcium and fat absorption infant
MORROW, G.; formulas with different fat blends
SOLVERIO, S.; Pediatrics 54: S. 217-225 (1974)
FINNEGAN, L.P.;
HEITMANN, S.E.:

10. BARRY, J.M.; The uptake from the blood of trigly-
BARTLEY, W.; ceride fatty acids of chylomikra and
LINZELL, J.L.; low-density lipoproteins by the
ROBINSON, D.S.: mammary gland of the goat
Biochem. Journal 89: S. 6-11 (1963)

11. BISHOP, C.; Studies on the origin of milk fat
DAVIES, T.; Biochem. Journal 113: S. 629-633 (1969)
GLASCOCK, R.F.;
WELCH, V.A.:

12. BROWN, J.B.; The fatty acids of human milk fat
ORIAN, B.M.: Arch. Biochem. Biophys. 9:
S. 201-207 (1946)

13. CRAWFORD, M.A.; Breast feeding and human milk composition
LAURANCE, B.M.; The Lancet I 8002: S. 99 - 100
MUNHAMBO, A.E.:

14. CREMER, H.D.: Die große Nährwerttabelle
Gräfe & Unzer Verlag, München (1978)

15. DAVIES, D.P.: Adequacy of expressed breast milk for
early growth of preterm infants
Archives of Disease in Chidhood 52:
S. 296-301 (1977)

16. DILLON, K.; Lead concentrations in human milk
WILSON, D.J.; J. Diseases of Children 128:
SCHAFFNER, W.: S. 491-492 (1974)

17. DIMICK, P.S.; Paths of palmitic acid incorporation
McCARTHY, R.D., into milk fat triglycerides
PATTON, S.: Biochim. Biophys. Acta 116:
S. 159-162 (1966)

18. DROESE, W.; Zur Frage der Versorgung des Säuglings
PAPE, E.; mit Fett und Fettsäuren
STOLLEY, H.: I. Fettgehalt und Fettsäuremuster in
Frauenmilch und Kuhmilch
Europ. J. Pediat. 122: S. 57-67 (1976)

19. ELSDON, G.D.: The composition of human milk
Analyst. 53: S. 78 (1928)

20. FOLLEY, S.J.; In "Milk": The mammary gland and its
McNAUGHT, M.L.: sekretion
Ed. bay Kon, S.K., Cowie, A.T., New York,
Academic Press Vol. 1, chapter 12,
S. 441 (1961)

21. GARTON, G.A.: The composition and biosynthesis of
milk lipids
J. Lipid Research, Vol. 4, Number 3:
S. 237-251 (1963)

22. GEIGY: Wissenschaftliche Tabellen
Ed.by Geigy, J.R.AG, Pharma, Basel
23. GLASCOCK, R.F.: Recent research on the origin of milk fat
Proc.Roy, Soc.B 149: S. 402-413 (1958)
24. GLASS, R.L.; Comparative biochemical studies of milks
TROOLIN, H.A.; IV. Constituent fatty acids of milk fats
JENNESS, R.: Comp. Biochem. Physiol. 22:
S. 415-425 (1967)
25. GUNTHER, M.: Diet and milk sekretion in woman
Proc.Nutr.soc. Vol. 27: S. 77-82 (1968)
26. GURTOVOI, B.L.: Content of trace elements in human milk
of arid subtropical regions of Todjik
SSR, Voprosy Pitaniya 22: S. 70-72 (1963)
27. GUTHRIE, H.A.; Fatty acid patterns of human milk
PICCIANO, M.F.; J. Pediatrics, Vol. 90, No. 1:
SHEEHE, D.: S. 39-41 (1977)
28. GYURGY, P.: Biochemical aspects
Am.J.Clin.Nutr. 24: S. 970-975 (1971)
29. HALL, B.: Changing composition of human milk and
early development of an appetite control
Lancet 1: S. 779-781 (1975)
30. HAMBIDGE, K.M.: The role of zinc and other trace metals
in pediatric nutrition and health
Pediatr.Clin. North Am. 24, No. 1:
S. 95-105 (1977)
31. HAMBRAEUS, L.: Proprietary milk versus human breast
milk in infant feeding
Pediatr.Clin. North Am. 24 No. 1:
S. 17-33 (1977)
32. HILDITCH, T.P.; Human milk fat. I. Component fatty acids
MEARA, M.L.: Biochem. J. 38: S. 29-34 (1944)
33. HYTTEN, F.E.: Clinical and chemical studies in human
laktation
I. Collection of milk samples
II. Variation in major constituents
during a feeding
III. Diurnal variation in major consti-
tuents of milk
Brit.Med.J. I: S. 175-182 (1954)

34. HYTTEN, F.E.: Clinical and chemical studies in human
laktation
IV. Trends in milk composition during
course of laktation
V. Individual differences in composition
of milk
Brit.Med.J. I: S. 249-255 (1954)
35. HYTTEN, F.E.: Clinical and chemical studies in human
laktation
VIII. Relationship of the age, physique,
and nutritional status of the mother to
the yield and composition of her milk
Brit.Med.J. II: S. 844-845 (1954)
36. INSULL, W.; The fatty acids of human milk from mothers
jun. on diets taken ad libitum
AHRENS, E.H.: Biochem. J. 72: S. 27-33 (1959)
37. INSULL, W.; The fatty acids of human milk
jun. II. Alterations produced by manipulation
AHRENS, E.H.: of caloric balance and exchange of dietary
fats
J.Clin.Invest. 38: S. 443-450 (1959)
38. JENNES, R.; Grundzüge der Milchchemie
PATTON, S.: Bayerischer Landwirtschaftsverlag,
München (1967)
39. KARMARKAR, M.G.; Studies on human laktation
RAMAKRISHNAN, Relation between dietary intake of lakta-
C.V.: ting woman and the chemical composition
of milk with regard to principal and
certain inorganic constituents
Acta paediat.Scand. 49: S. 499-604 (1960)
40. KLEINBAUM, H.: Copper content of foods for children
Z. Kinderheilk. 86: S. 655-657 (1962)
41. KOTTERER, R.: Untersuchungsverfahren für das milchwirt-
schaftliche Laboratorium
Volkswirtsch. Verlag, Kempten (1968)
42. KRAMER, M.; The effect of different factors on the
SZÜKE, K.; composition of human milk and its
LINDNER, K.; variations
TARRJAN, R.: III. Effect of dietary fats on the lipid
composition of human milk
Nutr.Dieta 7: S. 71-79 (1965)
43. KRETSCHMER, N.; Milk and laktation (Modern problems in
ROSSI, E.; paediatrics)
SERENI, F.: Karger Verlag, Basel-München (1975)

44. LAMM, S.,
et al.: Lead content of milks fed to infants,
1971-72
N.Engl.J.Med. 289: S. 574-575 (1973)
45. LAMM, S.H.;
ROSEN, J.F.: Lead contamination in milks fed to
infants, 1972-73
Pediatrics, 53: S. 137-141 (1974)
46. LANG, K.: Biochemie der Ernährung
Steinkopff Verlag, Darmstadt (1970)
47. LINZELL, J.L.;
PEAKER, M.: Mechanism of milk sekretion
PhysiolRev., Vol. 51, No. 3:
S. 564-593 (1971)
48. LINDEMANN, G.: Untersuchungen an Sammel-Frauenmilch
Mschr. Kinderheilk. 106: S. 52-55 (1958)
49. LUCAS, A.;
GIBBS, J.;
BAUM, J.D.: What's in breast milk?
Lancet, I, 8019: S. 1011-1012 (1977)
50. McLEOD, B.E.;
ROBINSON, M.F.: Dietary intake of manganese by New
zealand infants during the first six
months of life
Br.J.Nutr. 27: S. 229-231 (1972)
51. MACY, I.G.;
NIMS, B.;
BROWN, M.;
HUNSCHER, H.A.: Human milk studies
VII. Chemical analysis of milk represen-
tative of the entire first and last halves
of the nursing period
Amer.J.Dis.Child. 42: S. 569-590 (1931)
52. MACY, I.G.: Composition of human colostrum and milk
Amer.J.Dis.Child. 78: S. 589-603 (1949)
53. MACY, I.G.;
KELLEY, H.J.;
SLOAN, R.E.: The composition of milks
Publikation No. 254
National Research Council (1953)
54. MACY, I.G.;
KELLY, H.J.: Human milk and cow's milk in infant nutri-
tion
In: Kon, S.K., Cowie, A.T., "Milk". The
mammary gland and its sekretion.
Academic Press, New York, Vol. 2:
S. 265-304 (1961)
55. MARUNA, H.;
MARUNA, R.F.L.;
EISNER, R.: Cadmium und Blei in Muttermilchproben
Ärztliche Praxis 28: S. 6-7 (1976)
56. MEDVEDEVA, V.I.: Manganese content on the blood of newborn
infants in venous and retroplacental blood
and in human milk
Dokl.Akad.Nauk Belorusskoi. SSR 9:
S. 563-64 (1959)

57. MEITES, J.: Control of mammary growth and laktation
In: Martini, Ganong: Neuroendocrinology
Academic Press, New York, Bd. 1:
S. 669-707 (1966)
58. MENDELSON, C.R.; SCOW, R.D.: Uptake of chylomikron-triglyceride by
perfused mammary tissue of laktating rats
Am.J.Physiol. 223, No. 6: S. 1418-1422
(1972)
59. MENGEBIER, H.: Chemische Einheitsmethoden und inter-
nationale Standards für Milch und Milch-
erzeugnisse
Volkswirtschaftl. Verlag, Kempten
Th. Mann, Hildesheim
60. MURTHY, G.K.; RHEA, U.S.: Cadmium, copper, iron, lead, manganese,
and zinc in evaporated Milk, infant pro-
ducts, and human milk
J.Dairy Sci. 54, No. 7: S. 1001-1005
(1971)
61. NASSI, L.; POGGINI, G.; NASSI, P.A.; VECCHI, C.; GALVAN, P.:
Lo zinco nei latti natural e artificial
Ann.Sclavo., 17 (6): S. 848-858 (1975)
62. NOIRFALISE, A.; HEUGSHEM, C.; LEGROS, J.: Teneur en plomb du lait humain et de ses
produits de substitution
Arch.Belg.Med.Soc. 25: S. 73-79 (1967)
63. OZOL, A.A.: Content of cobalt and manganese in human
milk and placenta
Trud.Inst.eksp.Med.Akad.Nauk.Latv.SSR
Vop-Biokhim.Belk-Vitan., 22: S. 129-134
(1960)
64. PATTON, S.: The role of the plasma membrane in the
sekretion of milk fat
J.Theor.Biol. 15: 274-281 (1967)
65. PATTON, S.: Biomedical aspects of laktation with
special reference to lipid metabolism
Pergamon Press, Oxford (1976)
66. PETRICH, E.; PLENERT, W.: The concentration of essential fatty
acids in human milk
Acta Paediatr.Scand. 64: S. 153 (1975)
67. PINKERTON, C., et al.: Human milk as a dietary source of cadmium
and lead.
In: Hemphill: Trace substances in environ-
mental health
Columbia, Mo, University of Missouri Press,
Vol. 6: S. 39-43 (1973)

68. READ, W.W.C.; SARRIF, A.: Human milk lipids
I. Changes in fatty acid composition of early colostrum
Am.J.Clin.Nutr. 17: S. 117-179 (1965)
69. READ, W.W.C.; LUTZ, P.G.; TASHJIAN, A.: Human milk lipids
II. The influence of dietary carbohydrates and fat on the fatty acids composition of mature milk. A study on four ethnic groups
Am.J.Clin.Nutr. 17: S. 180-183 (1965)
70. RENNER, E.: Milch und Milchprodukte in der Ernährung des Menschen
Arbeitsgemeinschaft für das milchwirtschaftliche Fachbuch:
Volkswirtsch. Verlag GmbH, Kempten;
Verlag Th. Mann oHG, Hildesheim
S. 16-62, 152-168, 306-310 (1974)
71. ROBINSON, D.S.: The clearing factor lipase and its action in the transport of fatty acids between the blood and the tissues
In: Paoletti, Kritchevsky: Advances in lipid research
Academic Press, New York, Col. 1:
S. 133-182 (1963)
72. ROBYN, C.: Hormonale Aspekte der Physiologie der Brustdrüse
In: Annales Nestlé, Heft 45: Das Stillen
Vevey (Schweiz), S. 8-27 (1978)
73. ROLAND, F.; FREIESLEBEN, A.: Über die Reifungsvorgänge der Frauenmilch
Med. u. Ernähr. 4: S. 11-15 (1963)
74. SAGER, C.A.: Frauenmilchkonservierung durch Gefrier-trocknung
Beiheft Nr. 37 zum Archiv für Kinderheilkunde
Enke Verlag Stuttgart (1958)
75. SCHALL, H.: Nahrungsmitteltabelle
J.A. Barth-Verlag, Leipzig (1962)
76. SCHULTE-LÜBBERT, F.J.; BOHN, G.: Determination of cadmium in human milk during laktation
Arch. Toxicol. 37: S. 155-157 (1977)
77. SLOPER, K.S.; ELSDEN, E.; BAUM, J.D.: Increasing breast feeding in a community
Arch.Dis.Childhood 52: S. 700-702 (1977)

78. SÖDERHJELM, L.: Fat absorption studies
VII. Polyunsaturated fatty acids of
human milk and their variation with
dietary fat
Acta Soc.Med.Upsalien 58:
S. 244-251 (1953)
79. SOUCI, S.W.; Die Zusammensetzung der Lebensmittel
FACHMANN, W.; (Nährwerttabellen I,II)
KRAUT, H.: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft,
Stuttgart (1979)
80. STORRY, J.E.; Plasma triglycerides and milk-fat
ROOK, J.A.F.: synthesis
Biochem.J. 91: S. 27-29 (1964)
81. TAITZ, L.S.: Infantile Overnutrition among artifici-
fially fed infants in the Sheffield region
Brit.Med.J. I: S. 315-316 (1971)
82. TARJAN, R.; The effect of different factors on the
KRAMER, M.; composition of human milk
SZÜLKE, K.; II. The composition of human milk during
LINDNER, K.; laktation
SZARVAS, T.; Nutr.Dieta 7: S. 136-154 (1965)
DWORSCHAK, E.:
83. TRURNIT, G.: Kalorientabelle
Deutsche Gesellschaft f. Ernährung,
Frankfurt (1971)
84. UNANYAN, G.S.: Cu,Mn,Si,Al, and Mg in colostrum and
transitional and mature milk of mothers
of full-term an premature infants
Zhurnal.eksp.Klin.Med., 7:
S. 96-99 (1967)
85. UNDERWOOD, B.; Protein, lipid, and fatty acids od human
HEPNER, R.; milk from Pakistani women during prolonged
ABDULLAH, H.: periods of laktation
Am.J.Clin.Nutr. 23, No. 4: S. 400-407
(1970)
86. WATTS, R.; Human milk: Quantitative gas-liquid
DILS, R.: chromatographic analysis of trigliceride
and cholesterol content during laktation
Lipids, Vol. 3, No. 6 S. 471-475 (1968)
87. WIDDOWSON, E.M.; Comparison of dried milk preparations
SOUTHGATE, D.A.T.; for babies on sale in 7 Europaen countries
SCHUTZ, Y.: I. Protein, fat, carbohydrate and inorganic
constituents
Arch.Dis.Child., 49: S. 867-873 (1974)

88. WINKELMANN, R.: Zur pH-Messung mit Einstabmeßketten
Die Molkereizeitung: Die Welt der Milch,
14: S. 1035 (1960)
89. WIRTHS, W.: Kleine Nährwerttabelle der Deutschen
Gesellschaft für Ernährung
Umschau Verlag, Frankfurt a.M. (1977)

LEBENS LAUF

Am 31.10.1954 wurde ich als Tochter des damaligen Privatdozenten Dr.med. Wolf Müller-Limmroth und seiner Ehefrau Hildegard, geborene Limper in Münster/Westfalen geboren.

Die dortige Kreuzschule besuchte ich von Ostern 1961 bis April 1965, als unsere Familie nach München zog. Im Herbst des gleichen Jahres trat ich in das Kurt-Huber-Gymnasium in Gräfelfing/München ein, wo ich am 22.06.1974 meine Reifeprüfung ablegte.

Im September 1974 nahm ich das Studium der Medizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München auf.

Den vorklinischen Teil schloß ich am 27.08.1976 mit der "Ärztlichen Vorprüfung" ab. Die folgenden drei Abschnitte der "Ärztlichen Prüfung" absolvierte ich am 26.08.1977, am 21.08.1979 und am 29.10.1980. In die Zeit meines klinischen Studiums fallen sowohl der experimentelle Teil als auch die Auswertungsarbeit der vorliegenden Inaugural-Dissertation.

Die Approbation als Arzt wurde mir am 31.10.1980 erteilt.

Seit dem 01.01.1981 bin ich als Assistenzärztin unter der Leitung von Prof. Dr.med. SCHREIER an der Städtischen Kinderklinik Nürnberg tätig.

